



VŠB - Technická univerzita Ostrava

Univerzitní studijní programy

Lambda regulace spalovacího motoru

Lambda Regulation of Combustion Engine

Zadání bakalářské práce

Student: **Libor Skopal**
Studijní program: B3943 Mechatronika
Studijní obor: 3906R007 Automobilová elektronika
Téma: **Lambda regulace spalovacího motoru**
Lambda Regulation of Combustion Engine

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte rešerši koncepčních řešení a funkčních vlastností jednotlivých systémů lambda regulace u spalovacích motorů.
2. S využitím válcové výkonové zkušebny proveďte praktické ověření vlastností elektronických regulačních obvodů pro regulaci složení směsi u spalovacích motorů.
3. Dle pokynů vedoucího bakalářské práce vypracujte typizovanou laboratorní úlohu pro vybraný systém lambda regulace u spalovacích motorů.

Seznam doporučené odborné literatury:

Podle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 02.11.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



vedoucí katedry



prof. Ing. Petr Noskievič, CSc.
prorektor pro studium

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci *Lambda regulace spalovacího motoru* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Šimoníka, Ph.D. a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 19. května 2010

vlastnoruční podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá analýzou elektronických systémů lambda regulace a praktickým ověřením vybraných systémů osobních vozidel. Praktické testy byly realizovány s využitím válcové výkonové zkušebny a jejich cílem bylo ověřit vlastnosti a funkčnost elektronických regulačních obvodů pro regulaci složení směsi spalovacích motorů. První část je zaměřena na řešení koncepčních řešení a funkčních vlastností jednotlivých systémů lambda regulace. Druhá část se týká praktického měření vybraných typů lambda sond. Třetí část je zaměřena na vytvoření typizované laboratorní úlohy pro vybraný systém lambda regulace spalovacích motorů.

Abstrakt

This Bachelor thesis deals with analysis electronic systems of lambda regulation and practical verification chose systems of personal vehicles. Practical tests were realized with usage cylindrical performance test-room and their goal was verify properties and functionality of electronic regulation circuits for regulation composition mixtures combustion engines. First part is oriented on background research concept solutions and function properties particular systems of lambda regulation. Second part deal with practical measuring chose types of lambda sensors. Third part is oriented on creation typified laboratory work for chose system of lambda regulation of combustion engines.

Klíčová slova

Lambda regulace, Lambda sonda, NOx senzor, Diagnostika

Key words

Lambda regulation, Lambda senzor, NOx senzor, Diagnostic

Obsah

OBSAH	6
1 ÚVODNÍ ROZDĚLENÍ	7
1.1 POJEM LAMBDA SONDA	7
1.2 DRUHY LAMBDA SOND	9
1.2.1 NAPĚŤOVÁ LAMBDA SONDA	9
1.2.2 ODPOROVÁ LAMBDA SONDA	10
1.2.3 ŠIROKOPÁSMOVÁ LAMBDA SONDA	11
1.2.4 ČIDLO OXIDU DUSÍKU	13
1.3 DIAGNOSTIKA LAMBDA SOND	14
1.4 VLIV LAMBDA REGULACE NA EMISE	17
1.4.1 SLOŽENÍ EMISÍ	17
1.4.2 VLIV HODNOTY λ NA EMISE	18
2 OVĚŘOVÁNÍ VLASTNOSTÍ LAMBDA REGULACE	20
2.1 NAPĚŤOVÁ LAMBDA SONDA	20
2.1.1 ŠKODA FORMAN 1.3	20
2.1.2 HYUNDAI I30 1.4	30
2.2 ODPOROVÁ LAMBDA SONDA	36
2.2.1 OPEL CORSA 1.2	36
2.3 ŠIROKOPÁSMOVÁ LAMBDA SONDA	43
2.3.1 ŠKODA OCTAVIA II 2.0	43
3 ZÁVĚR	49
4 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	50
5 SEZNAM PŘÍLOH	50

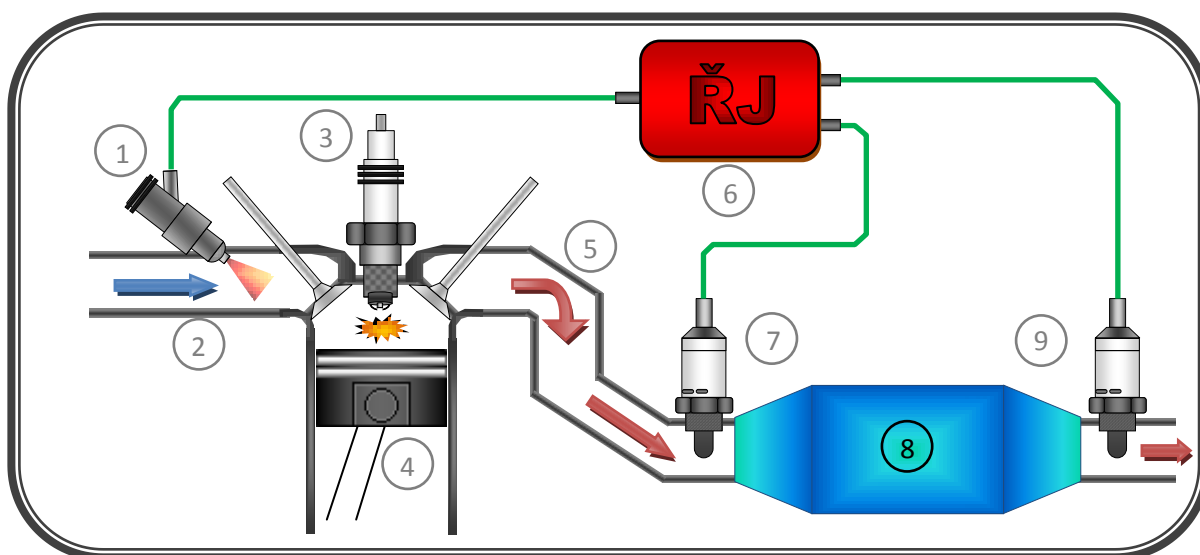
1 Úvodní rozdělení

1.1 Pojem Lambda sonda

Se stále vzrůstajícím zastoupením elektroniky v automobilech a zvyšujícími se požadavky na úsporu paliva a ekologii silničního provozu. Přišla v roce 1976 firma Bosch do automobilového průmyslu s takzvaným senzorem kyslíku neboli Lambda sondou.

Lambda sonda je v dnešní době potřebná pro řízení spalování motoru s třicestným katalyzátorem, aby bylo dosaženo snížení koncentrace škodlivých látek ve výfukových plynech. To znamená, že Lambda sonda měří koncentraci kyslíku ve výfukové potrubí a získaná hodnota napětí na jejím výstupu řídí poměr paliva a vzduchu v sání nebo ve válci tak, aby bylo co nejvíce dosaženo optimální směsi. Za tu se považuje tzv. stechiometrický poměr pro spalování. Ten je označován hodnotu $\lambda = 1$ a fakticky mu odpovídá poměr zhruba 14.7 kg vzduchu na 1 kg paliva (benzínu). [1]

Lambda sonda je umístována ve výfukovém potrubí co možná nejbližže motoru. Její sériovou produkci zahájila firma Bosch v roce 1976. Keramické těleso z oxidu zirkonu reaguje změnami elektrického napětí na obsah kyslíku ve výfukových plynech a podle jejích signálů elektronická řídicí jednotka motoru upravuje složení směsi, respektive množství vstřikovaného paliva. Sonda dostala svůj název podle řeckého písmene lambda, kterým se označuje poměr paliva a vzduchu ve směsi. Za lambda sondu je vřazován do výfukového potrubí katalyzátor, který snižuje obsah škodlivin ve výfukových plynech. Správný poměr by měl být roven 1, při hodnotě jen o málo nižší se výrazně zvyšuje obsah oxidů dusíku (NOx) ve výfukových plynech, naopak při poměru větším než 1 se zvyšuje obsah oxidu uhlíku (CO). Diagnostická sonda za katalyzátorem kontroluje, zda regulační sonda funguje správně.[2]



Obr. 1

1-vstřikovač paliva, 2-nasávaný vzduch, 3-zapalovací svíčka, 4-válec s pístem, 5-výfukové plyny, 6-řídicí jednotka, 7-lambda sonda před katalyzátorem, 8-katalyzátor, 9-lambda sonda za katalyzátorem.

Lambda sonda je součástí výfukové soustavy a má významný vliv nejen na emise škodlivin, ale také na spotřebu paliva. Jako čidlo je vystavena prudkým tepelným, mechanickým a chemickým nárazům

a dochází také k jejímu opotřebení. Staré lambda sondy proto mohou zapříčinit zvýšení škodlivin ve výfukových plynech. V některých případech může dojít k překročení předepsaných limitů a automobil pak neprojde emisní prohlídkou. Aby k tomu nedocházelo, odborníci doporučují nechat si prověřit účinnost lambda sondy ve specializované dílně po ujetí každých 30 000 km. [2]

Pravidelná kontrola lambda sondy má ekonomický a ekologický smysl. Nefunkční sonda může prudce zvýšit nejen úroveň škodlivých emisí, ale též spotřebu paliva až o 15 %. Nesprávná směs může také poškodit a dokonce i zničit katalyzátor. [2]

Životnost lambda sondy mohou významně zkrátit nepříznivé okolnosti. Znečištěný či olovnatý benzin mohou způsobit až její zničení. Navíc olej nebo voda, které mohou vniknout do spalovacího prostoru a poté do výfukového traktu při případném poškození těsnění, rovněž urychlují opotřebení sondy. [2]

Historie lambda sondy – BOSCH

1976 – První regulace výfukových plynů – Prostřednictvím lambda sondy se stávají katalyzátory mnohem účinnější a méně poruchové. Tím dochází ke snížení emisí o 50%. Interval výměny lambda sondy je 50 – 80 tisíc km. [3]

1985 – Vyhřívané lambda sondy – Lambda sonda již nemusí být montována v přímé blízkosti motoru. Zahřívání umožňuje udržet pro sondu teplotu vyšší než 350 °C. Interval výměny lambda sondy je 100 – 160 tisíc km. V létě téhož roku je lambda sonda rozšířena o čtvrtý vodič a umožňuje jednodušší kontrolu sondy. Snadnější je i rozpoznání případné poruchy lambda sondy. [3]

1990 – Rychlejší dosažení teploty – Planární sonda s vícevrstevnými keramickými fóliemi se zahřeje na provozní teplotu dvakrát rychleji. To sníží emise v dříve kritické fázi studeného startu o dalších 50%. Interval výměny lambda sondy je 160 tisíc km. [3]

1999 – Širokopásmové Lambda sondy – Z důvodu ještě přesnějšího měření výfukových plynů jsou nyní k dispozici dva měřicí články a šest pólů. Pomocí planárních širokopásmových lambda sond je poprvé možné regulovat a řídit i plynové a naftové motory. Interval výměny lambda sondy je 160 tisíc km. [3]

2002 – Universální program – Moderní motorová vozidla potřebují pro optimální chod a nízké emise i více než jednu lambda sondu mezi motorem a výfukem. Společnost BOSCH vyvinula universální lambda sondy a konektory. Interval výměny lambda sondy je 160 tisíc km. [3]

1.2 Druhy Lambda sond

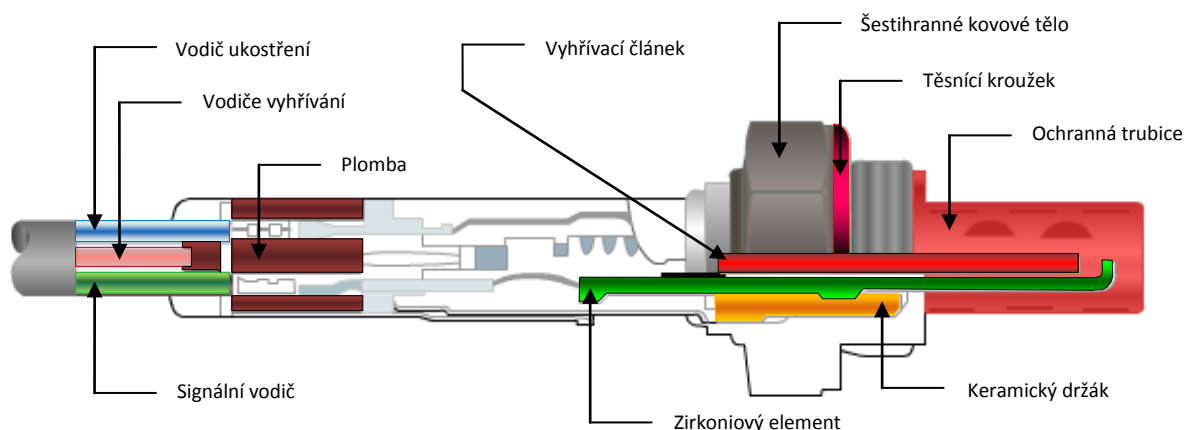
Lambda sondy dělíme na: - Tyčové napět'ové λ -sondy

- 1-vodičové
- 2-vodičové
- 3-vodičové
- 4-vodičové

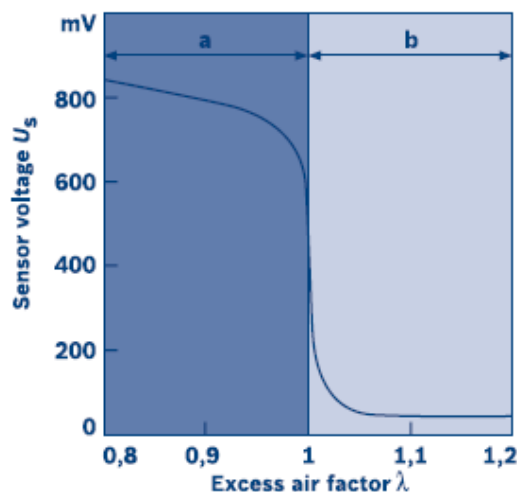
- Odporové λ -sondy
 - Typ I 4 vodiče
 - Typ II 4 vodiče
- Širokopásmové λ -sondy
 - 5-pólové (NGK)
 - 6-pólové (Bosch)
- NO_x senzory (Čidlo oxidu dusíku)

1.2.1 Napěťová λ -sonda

Tato Lambda sonda pracuje na principu galvanického článku řízeného obsahem kyslíku. Skládá se z pevného elektrolytu (většinou oxid zirkoničitý ZrO_2 a oxid yttritý Y_2O_3), který je při teplotách asi nad 300°C vodivý pro ionty kyslíku. Kyslík z vnějšího nebo referenčního vzduchu tímto elektrolytem difunduje a ionizuje se na ionty O_2 . Tyto ionty se ukládají na elektrodě s platinovou povrchovou vrstvou na straně výfukových plynů a vytvářejí zde relativní přebytek elektronů (záporný pól). Na straně vzduchu tak vzniká relativní nedostatek elektronů (kladný pól). Rozdíl napětí je závislý na obsahu kyslíku ve výfukových plynech a tím i na složení směsi. Vzniklý napěťový signál se vyhodnocuje v řídicí elektronice, kde se porovnává s pevně zadaným referenčním napětím a nakonec se využívá pro korigování směsi. [4]



Obr. 2 [5]



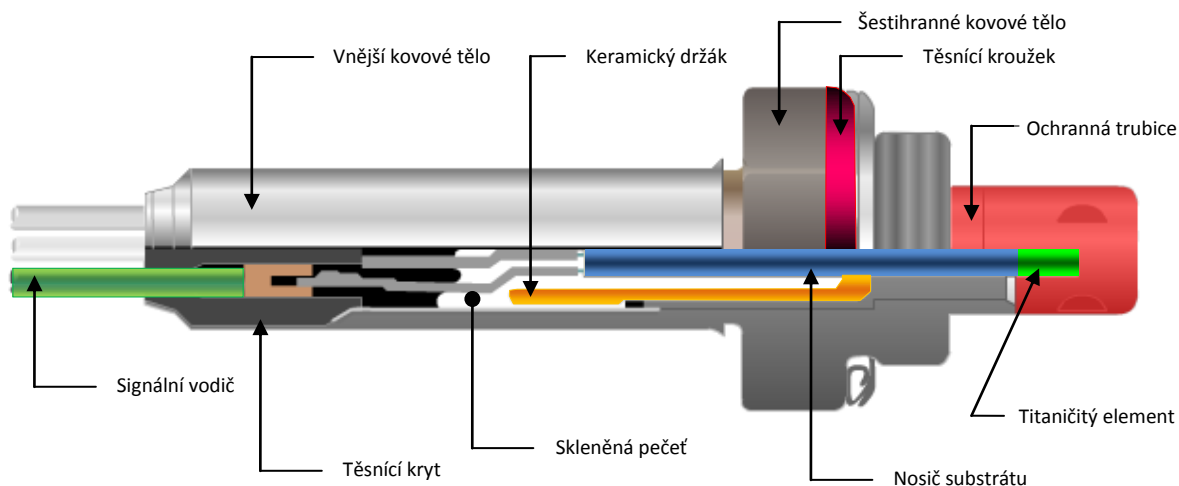
Obr. 3 [6]

Pokud hodnota napětí naměřená sondou činí asi 800mV (bohatá směs), pak se po předem zadané charakteristice ochuzuje tak dlouho, dokud sonda nenaměří hodnotu napětí přibližně 200mV (chudá směs). Pak se zase po předem zadané charakteristice obohacuje do té doby, než je naměřeno přibližně 800 mV. Toto napětí se přitom neustále porovnává s referenčním napětím 450 mV, trvale uloženým ve vyhodnocovací elektronice. Typický průběh signálu z této lambda sondy je na Obr. 3. Ve specifických provozních stavech (spouštění nezahřátého motoru, plné zatížení atd.) jsou signály lambda sondy potlačeny nebo v řízení motoru dostávají nižší stupeň priority. Signály sondy jsou také potlačeny při nouzovém programu. [4]

Tento typ sondy se také nazývá skoková sonda. Existují sondy, které jako referenční veličinu používají kyslík ve vzduchu, a sondy, které pracují s inertní referenční atmosférou. Vyhřívané lambda sondy se rychleji dostávají na pracovní teplotu a mohou tak řídicí elektronice rychleji dodávat signály použitelné pro vyhodnocení. Tuto sondu je možné používat jako regulační, nebo jen monitorovací (pro systémy palubní diagnostiky OBD). [4]

1.1.1 Odporová λ -sonda

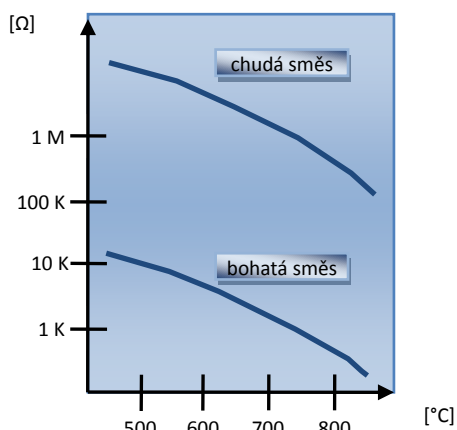
Na rozdíl od napěťové sondy (zirkoniové) je sonda s oxidem titaničitým sondou odporovou. U této sondy se v závislosti na obsahu kyslíku ve výfukových plynech skokem mění odpor. Tyto změny zase vyvolávají změny napětí na sondě. Pro tuto sondu není zapotřebí žádné referenční hodnoty. Reaguje totiž na absolutní parciální tlak kyslíku. Okolo několika silnovrstvých článků vlastní sondy je nasazeno hermeticky těsné pouzdro. Elektrický odpor oxidu titaničitého se mění přímo úměrně k parciálnímu tlaku kyslíku ve směsi plynů. Je-li kyslíku ve výfukových plynech příliš mnoho ($\lambda > 1$), oxid titaničitý reaguje a stává se méně vodivým. Je-li obsah kyslíku ve výfukových plynech nízký ($\lambda < 1$), oxid titaničitý se stává vodivějším. V obou případech se mění elektrický odpor sondy. U oxidu titaničitého (TiO_2) jsou tyto změny obzvláště rychlé při vysokých teplotách. [4]



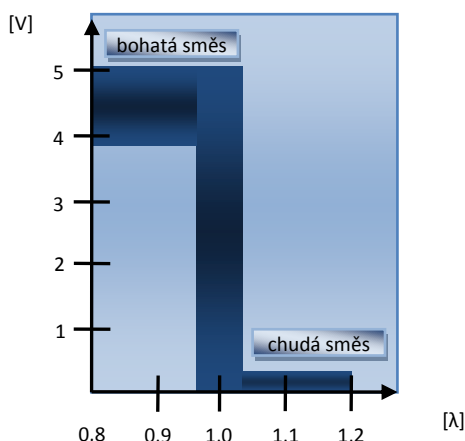
Obr. 4 [5]

Tato sonda nepotřebuje žádnou referenční hodnotu, musí však být přes kombinovaný odpor napájena řídicí jednotkou konstantním napětím 5V. Úbytek tohoto napětí vyvolá signál, který řídicí jednotka potřebuje. Zařazení topného článku do hlavy snímače zabezpečuje rychlé dosažení stavu pohotovosti. Teplota počátku funkce je asi 200 °C. Topný výkon použitého vyhřívání je asi 7 W a umožňuje dosáhnout této teploty za méně než 20s. To má příznivý vliv na emisní charakteristiky ve fázi zahřívání motoru. Elektronická regulace vyhřívání zajišťuje při běžném provozu optimální teplotu sondy 650 °C. Jako regulační veličina pro tuto teplotu slouží signál sondy v intervalu charakteristiky

chudé směsi. Obrázek 5 a 6 ukazuje odporovou a napěťovou charakteristiku. Tento typ sondy se často používá v automobilech značky Opel. [4]



Obr. 5

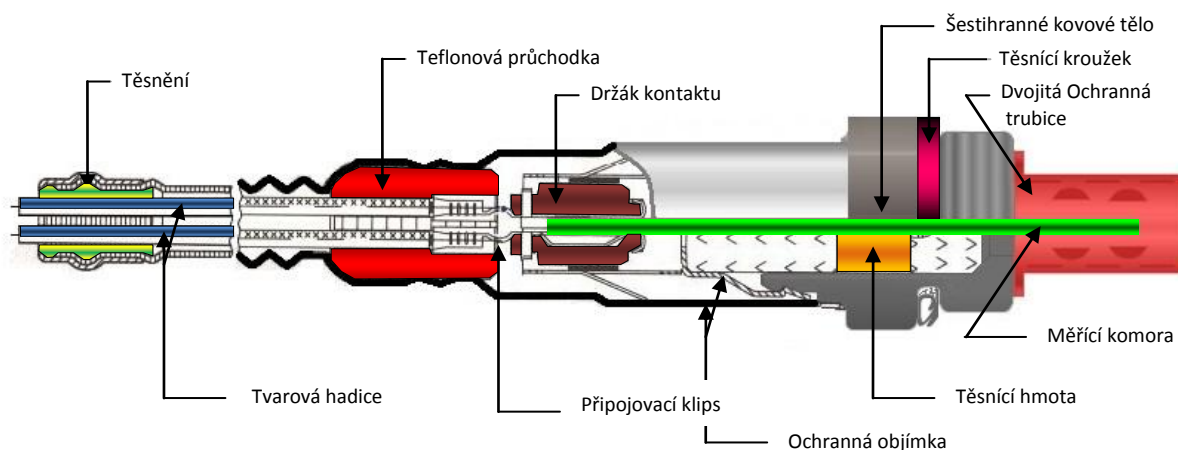


Obr. 6

Vedle obsahu kyslíku má na odpor sondy vliv také teplota výfukových plynů. Napětí sondy je tak možno využívat i pro určování této teploty. Při velmi vysokých teplotách je úbytek napětí v oblasti chudých směsí mírou pro zaznamenávání kritických teplot výfukových plynů. Vystoupí-li tyto teploty příliš vysoko, spustí se u motoru funkce pro ochranu katalyzátoru, které zabraňují jeho poškození. Tato sonda se může použít i jako regulační sonda pro OBD. [4]

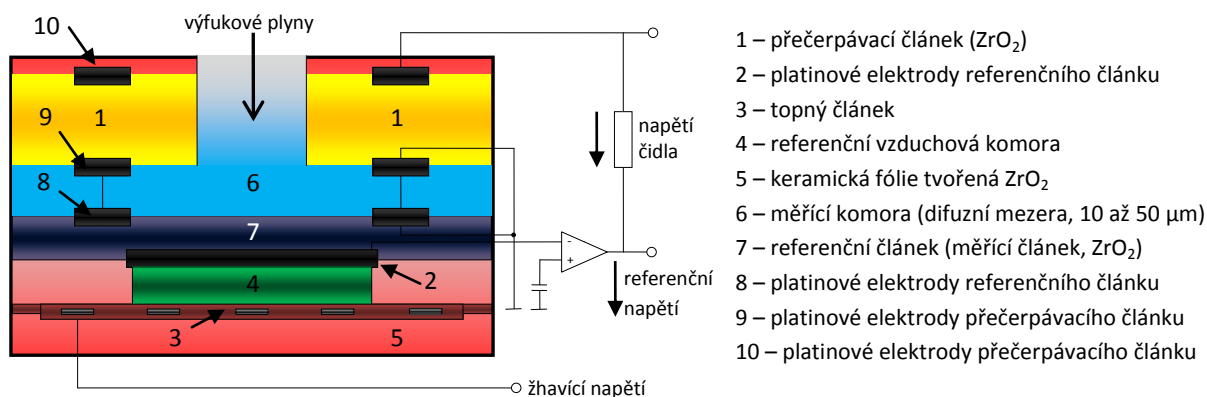
1.1.2 Širokopásmová lambda sonda (Univerzální):

Tento typ sondy představuje novou generaci sond, které mají velmi široký měřicí rozsah. Proto se nejlépe hodí pro motory pracující s chudou směsí a pro zážehové plynové nebo vznětové naftové motory. Výstupní hodnotou této sondy není skokem se měnící křivka napětí jako u zirkonové sondy, nýbrž téměř lineárně stoupající intenzita proudu. Hodnoty součinitele přebytku vzduchu lambda je tak možné měřit ve velkém intervalu (širokém pásmu) od $\lambda = 0,75$ až po $\lambda = \text{nekonečno}$ (teoreticky, tato hodnota odpovídá 21% obsazení kyslíku ve vzduchu). Signály schopné bezpečného vyhodnocení se získávají až do hodnoty součinitele přebytku vzduchu $\lambda = 3,4$. Hodnota lambda se neurčuje ze změny napětí, nýbrž ze změny intenzity proudu. Pracovní teplota se pohybuje v teplotně regulovaném intervalu kolem $750\text{ }^{\circ}\text{C}$. V důsledku použití velmi nízkoohmového topného článku dosahuje sonda této pracovní teploty přibližně po 15 sekundách. Princip konstrukce sondy LSU je zobrazen na Obr. 7 a princip funkce na Obr. 8. [4]



Obr. 7

Na rozdíl od skokové sondy se na elektrodách udržuje konstantní napětí. To se realizuje pomocí přečerpávacího článku, který na elektrodu na straně výfukových plynů přivádí tolik iontu kyslíku, že napětí mezi oběma elektrodami má konstantní hodnotu 450 mV. To odpovídá stechiometrické směsi $\lambda = 1$ v měřicí mezeře, kdy čerpací proud je nulový. Spotřeba proudu v přečerpávacím článku se v řídicí jednotce motoru přepočítává na hodnotu λ .

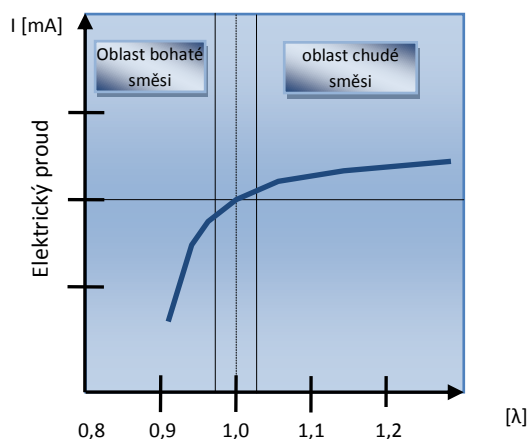


Obr. 8

Tato sonda se smí vyměňovat pouze jako celek i s kabelem a konektorem, protože všechny tyto součásti jsou navzájem přesně sladěny. Konektorové spojky je bezpodmínečně nutné chránit před nečistotami, protože se jimi dovnitř sondy přivádí vnější vzduch (do referenční komůrky). Tyto konektory existují jako 6-pólové (Bosch) nebo 5-pólové (NGK). [4]

Funkce sondy:

Průběh signálu v širokopásmové sondě ukazuje Obr. 9. Po přivedení napětí na platinové elektrody přečerpávacího článku se přes difuzní membránu difuzní mezery čerpá kyslík z (resp. do) výfukových plynů. Pomocí elektroniky se toto napětí reguluje tak, aby složení směsi v difuzní mezeře odpovídalo stechiometrické směsi $\lambda = 1$ (tj. 450 mV). Přečerpávací proud, který protéká elektrodami, je pak přímo úměrný obsahu kyslíku ve výfukových plynech. [4]



Obr. 9

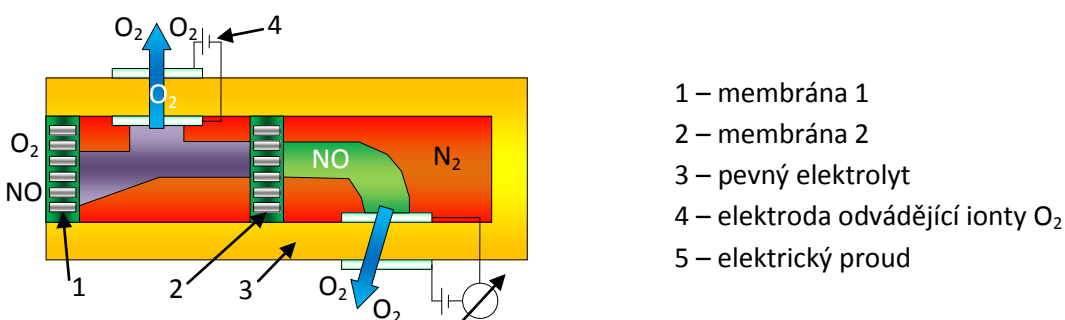
Je-li směs palivo-vzduch chudá, je ve výfukových plynech vyšší obsah kyslíku a přečerpávací článek musí kyslík čerpat ven. Poměr kyslíku k vnějšímu vzduchu se při konstantním čerpacím výkonu mění a napětí mezi elektrodami se snižuje. Aby se mezi elektrodami dosáhlo napětí 450 mV, musí se na

straně výfukových plynů obsah kyslíku snížit. Čerpací výkon se změní a řídicí jednotka motoru přepočítá spotřebu proudu v přečerpávacím článku na hodnotu lambda. Podle ní upraví složení směsi. [4]

Je-li směs palivo-vzduch bohatá, obsah kyslíku ve výfukových plynech je nižší a přečerpávací článek čerpá do měřicího prostoru méně kyslíku. Směr proudu se obrací a do měřicí mezery se čerpá kyslík z výfukových plynů a z přeměny CO_2 a H_2O . Napětí mezi elektrodami se zvýší. Přečerpávací článek musí změnit svůj čerpací výkon, čímž se obsah kyslíku v měřicí komůrce zvýší a napětí na elektrodách se zase nastaví na 450 mV. [4]

1.1.3 Čidlo oxidu dusíku (NO_x , čidlo s dvojitou komůrkou)

Čidlo s dvojitou komůrkou Obr. 10 (princip funkce) slouží k zaznamenání koncentrace oxidu dusíku ve výfukových plynech a k dodávání naměřených hodnot pro správnou funkci katalyzátorů na redukcii



Obr. 10

NO_x . Někteří výrobci používají zásobníkové katalyzátory, které oxidy dusíku NO_x zadržují do té doby, dokud není kapacita zásobníkové vrstvy plná. Pokud dojde k naplnění zásobníku, řízení motoru obohatí směs palivo-vzduch. Vyšší obsah paliva vyvolá ve výfukových plynech zvýšení obsahu HC a CO. Tyto plyny se pak postarají o to, aby se oxidy dusíku v zásobníkovém katalyzátoru přeměnily na neškodné N_2 , H_2O a CO_2 . [4]

K tomu jsou zapotřebí dvě čidla: běžná lambda-sonda pro stanovení obsahu kyslíku ve výfukových plynech před zásobníkovým katalyzátorem a čidla s dvojitou komůrkou za katalyzátorem pro měření hodnoty lambda a koncentrace oxidů dusíku. Když se obsah oxidu dusíku ve výfukových plynech výrazně zvýší, je to známka toho, že zásobníkový katalyzátor je plný a nemůže už žádné oxidu dusíku ukládat (přijímat). [4]

Výfukové plyny obsahují směs NO_x a O_2 za katalyzátorem prochází soustavou se dvěma komůrkami. Protože přítomnost kyslíku má na měření oxidů dusíku negativní vliv, musí se kyslík nejprve odstranit. Toho se dosahuje přiložením napětí na první komůrku. Toto napětí rozkládá molekulu kyslíku na ionty. Ty procházejí pevným elektrolytem z oxidu zirkoničitého. Ve druhé komůrce se zbývající ionty dusíku elektricky štěpí na dusík N_2 a kyslík O_2 . Elektrický proud, který přitom protéká, je přímo úměrný koncentraci oxidů dusíku ve výfukových plynech. Přesnost měření se pohybuje v intervalu 100 ppm oxidu dusíku ve výfukových plynech. Protože úložná kapacita katalyzátoru je známa, je možné stanovit okamžik, ve kterém je nutné vyvolat změnu hodnoty lambda a tím regeneraci katalyzátoru. [4]

1.2 Diagnostika Lambda sond

Vizuální kontrolou je možné u lambda sond zkontrolovat mechanické poškození a jejich znečištění. Typickými viditelnými závadami jsou:

- silně „začouzené“ ochranné pouzdro Obr. 11: motor pracuje s příliš bohatou směsí. Sondu je třeba vyměnit a odstranit příčinu nastavení na příliš bohatou směs,
- bílé nebo světle šedé nánosy na ochranném pouzdru Obr. 12: motor spaluje olej a přísady do paliva. Sonda se musí vyměnit a příčina spalování oleje odstranit,
- mechanické poškození následkem nesprávné montáže: neodborná montáž může lambda sondu poškodit tak, že už nemůže být zaručena její správná funkce. Při montáži se musí používat předepsané speciální nářadí. Zejména je třeba dát pozor na utažení předepsaným momentem,
- poškození účinkem olova by se dnes už nemělo vyskytovat, protože palivo obsahující olovo se v rámci EU už nesmí prodávat. [4]



Obr. 11

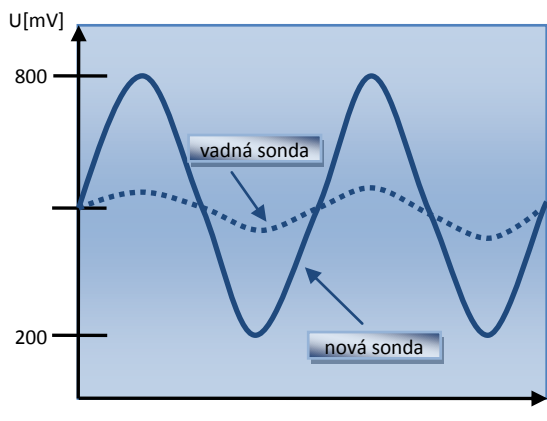


Obr. 12

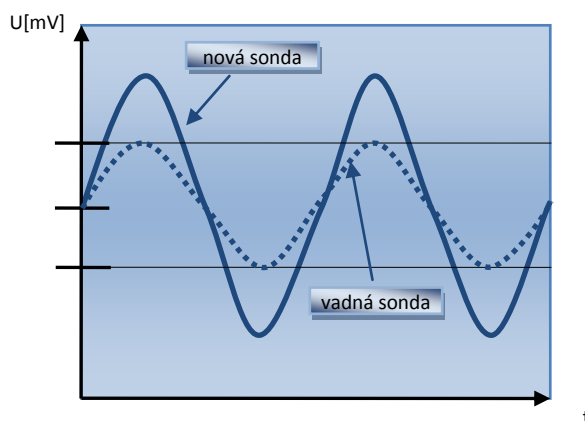
Důležitější než posouzení mechanických poškození je však znalost charakteristik signálu lambda sondy. Posouzení těchto charakteristik je možné snímáním jejich průběhu pomocí osciloskopu. Z charakteristik je možné usuzovat zestárnutí sondy. V řídicí jednotce systému OBD (palubní diagnostiky) jsou uloženy zadané hodnoty pro regulaci charakteristik sondy. Řídicí elektronika při interním zkoušení hodnověrnosti porovnává aktuální hodnoty signálu s těmito zadanými hodnotami. Při spuštění motoru se všechny staré hodnoty sondy v řídicí jednotce vymažou. Během jízdy se v intervalu zatížení a otáček určeném pro diagnostiku vytvoří nové minimální a maximální hodnoty pro procesy regulace. [4]

Nová lambda sonda vykazuje na osciloskopu průběh signálu založený na Obr. 13. Výchyvky v oblasti „bohatá“ a „chudá“ jsou téměř stejné. Doby reakce „chudá-bohatá“ a „bohatá-chudá“ se pohybují mezi 300 a 500 milisekundami, záleží však na teplotě a otáčkách motoru, proto se perioda signálu dvoubodové lambda sondy pohybuje v rozmezí 0,6 – 2 s. Vadné sondy ukazují téměř nezvlněný průběh signálu. Typickými závadami jsou mechanická poškození, příliš vysoký stav oleje v motoru nebo použití méně kvalitního motorového oleje. U automobilů s OBD se v takovém případě závada ukládá do paměti závad. [4]

U opotřebené nebo zestárlé sondy jsou regulační amplitudy stále menší a menší Obr. 14. Už se nedosahuje předepsaných hodnot napětí. Není možné přesné rozlišení mezi příliš bohatou a příliš chudou směsí. Obvod pro regulaci lambda tak již nemůže plnit svou funkci. U automobilů s OBD se závada ukládá do paměti. [4]



Obr. 13

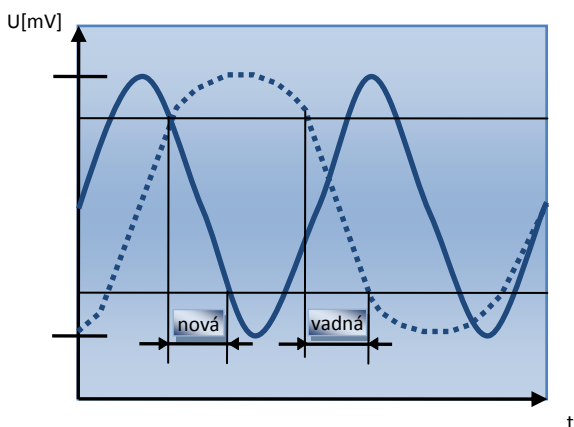


Obr. 14

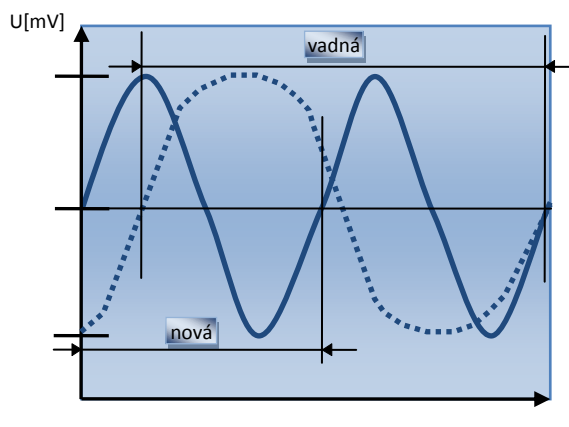
U zestárlých lambda sond Obr. 15 se může doba reakce na změnu složení směsi výrazně prodloužit. Aktuální složení směsi se nezaznamenává přesně. Na nutná obohacení nebo ochuzení směsi reaguje systém příliš pomalu. Dochází-li k překročení zadaných náběhových dob signálu u automobilu s OBD je tato závada uložena do paměti. [4]

U starých lambda sond se může zpomalit i frekvence procesů regulace Obr. 16. Doba úplné regulace (perioda) se stává příliš dlouhou, takže potřebná odezva na změny nenásleduje dostatečně rychle. Sonda vždy setrvává příliš dlouho v oblasti chudé nebo bohaté směsi. Také v tomto případě se u systémů s OBD závada ukládá do paměti závad. [4]

Při každém zkoušení lambda sond je bezpodmínečně nutné dbát příslušných pokynů výrobce. Při výměně sondy je třeba vždy dodržet utahovací momenty (v závislosti na výrobci většinou 40 až 60 Nm). Větší utahovací momenty způsobují mechanické poškození keramických prvků v sondě. Přesné přezkoušení funkčnosti lambda sondy pomocí zapnutí poruchových veličin a kontrola regulačního obvodu nejsou vždy možné. Při zkoušení regulačního obvodu existuje riziko, že moderní systémy řízení motoru i v případě nefungující lambda regulace v důsledku přesné registrace zatížení budou směs palivo-vzduch korigovat tak rychle a přesně, že lambda bude vždy dosahovat požadované hodnoty stechiometrické směsi $\lambda = 1$. [4]



Obr. 15



Obr. 16

V případě, že se měří víceúčelovým měřicím přístrojem, měl by se rozsah měření nastavit na 1 nebo 2 V (po spuštění motoru se odečítaná hodnota pohybuje mezi 0,4 - 0,6 V což odpovídá referenčnímu napětí). Když lambda sonda dosáhne své pracovní teploty (tu musí mít i motor), začne napětí kolísat mezi 0,1 - 0,9 V. Pro tato měření by se měly používat analogové či digitální víceúčelové měřicí přístroje s vysokým vnitřním odporem. [4]

Pomocí systémů diagnostiky motoru, které mají k dispozici funkci osciloskopu, je možné zobrazovat průběh signálu ze sondy a z něho pak stanovovat diagnózu. V případě ručního nastavování osciloskopu je třeba volit rozsah napětí 1 až 5 V a časový interval 1 až 2 s. při kontrole sond s oxidem titaničitým se na obrazovce ukáže sinusové střídavé napětí. Z průběhu signálu je možné vyhodnocovat tři parametry: výšku amplitudy v intervalu od maxima 0,9 V do minima 0,1 V, dále dobu reakce a délku periody ve frekvenčním intervalu cca 0,5 až 4 Hz (tzn. 0,5krát až 4krát za sekundu). Při tomto měření by se v obou případech měly otáčky motoru udržovat mezi 2000 až 2500 min⁻¹. [4]

Při kontrole ohřevu sondy se může přezkoušet vnitřní odpor a napájení topného článku. Pro tento účel se musí rozpojit konektor lambda sondy. Pak se na straně lambda sondy pomocí ohmmetru změří odpor mezi oběma kabely topného článku. Jeho hodnota by se měla pohybovat mezi 2 až 14 Ω . je-li hodnota větší než 30 Ω, je topení vadné. Pomocí voltmetru je možné změřit též napájecí napětí. Jeho hodnota by měla být vyšší než 10,5 V. [4]

V rámci OBD se provádí ještě další kontrola průběhu signálu lambda sond při přezkušování funkce katalyzátoru. Z porovnání průběhu signálu z regulační následně monitorovací sondy je možné činit závěry o účinnosti katalyzátoru. [4]

U motorů s válci do V nebo motorů typu boxer s dvouproudými výfukovými systémy se používají nejméně dvě lambda sondy. Každá řada válců tak má vlastní regulační obvod, kterým se může řídit nastavování směsi. Avšak i u větších řadových motorů se montuje vždy jedna lambda sonda pro jednotlivé páry válců (např. válce 1-3 a 4-6). U nových systémů se selektivním řízení směsi pro jednotlivé válce se signály z lambda sondy spojují se signály zapalování. Řídící elektronika tak může ze signálu sondy činit závěry o složení směsi ve válci, který právě zapaloval, a provést příslušné korekce pro další návazný proces tvorby směsi a jejího zážehu. Proto se u moderních 8 až 12 válcových motorů používají až čtyři vyhřívané sondy u předního i zadního katalyzátoru. [4]

1.3 Vliv Lambda regulace na emise

1.3.1 Složení emisí

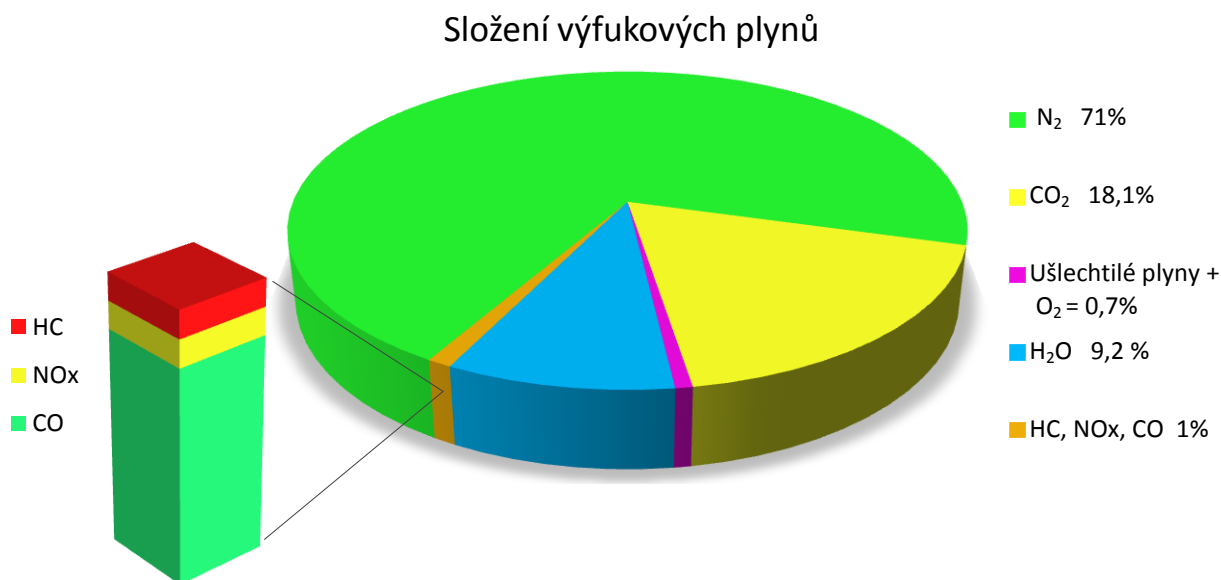
S ohledem na nutnost radikálního omezení znečišťování ovzduší výfukovými plyny ze silniční dopravy je legislativně předepsán nejvyšší dovolený obsah škodlivin obsažených ve výfukových plynech všech silničních vozidel. [7]

Ropná paliva se skládají z větší části z různých uhlovodíků. Při dokonalém spalování těchto uhlovodíků, tj., při jejich slučování s kyslíkem ze vzduchu, vzniká pouze vodní pára a oxid uhličitý. Oxid uhličitý v ovzduší se ve velkých množstvích považuje za příčinu klimatických změn. [7]

Vzhledem k nedokonalému spalování paliva v motoru však vznikají vedle vodní páry a oxidu uhličitého další škodlivé látky plynné i pevné: [7]

- Oxid uhelnatý, CO,
- Nespálené uhlovodíky, HC,
- Oxidy dusíku, NOx,
- Sloučeniny olova,
- Pevné látky.

Při středním zatížení i otáčkách je podíl všech těchto škodlivin ve výfukových plynech u benzínového motoru zahřátého na provozní teplotu asi 1 % z celkového množství plynů. [7]



Obr. 17

Oxid uhelnatý – CO: Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn bez zápachu. Při vdechování blokuje transport kyslíku v krvi. Při vyšší koncentraci než **0,3 % (objemová)** a delší době působení může působit smrtelně. Nižší koncentrace způsobují bolesti hlavy, únavu a ovlivňují smyslové vnímání. Oxid uhelnatý vzniká při nedokonalém spalování paliva v důsledku nedostatku vzduchu. Podíl oxidu uhelnatého ve výfukových plynech je tím větší, čím bohatší je směs paliva a vzduchu. Oxid uhelnatý

vzniká i při přebytku vzduchu (chudé směsi), ale v mnohem menší míře. Příčinnou je nedokonalé smísení paliva a vzduchu ve válci, tzn. existence míst s bohatou směsí. [7]

Nespálené uhlovodíky – HC: Skládají se z velkého množství různých sloučenin uhlíku a vodíku. Některé uhlovodíky jsou karcinogenní. Jsou příčinnou nepříjemného zápachu výfukových plynů. Za nepříznivých povětrnostních podmínek jsou ve spojení s oxidy dusíku, příčinnou tvorby smogu (z anglického Smoke + fog = kouř + mlha). Nespálené uhlovodíky vznikají při nedokonalém spalování směsi paliva a vzduchu v důsledku nedostatku vzduchu ($\lambda < 1$), popřípadě při velmi chudé směsi ($\lambda > 1,2$). Kromě toho zůstávají nespálené sloučeniny HC v těch částech spalovacího prostoru, které nejsou zcela zasaženy plamenem, např. štěrbina mezi pístem a válcem. [7]

Oxidy dusíku – NOx: Souhrnný pojem oxidy dusíku se používá pro různé oxidy dusíku (oxid dusný N_2O , oxid dusnatý NO, oxid dusičitý NO_2). Oxidy dusíku mohou být buď bezbarvé a bez zápachu nebo červenohnědé, štiplavě zapáchající. Oxidy dusíku dráždí dýchací cesty, ve vysokých koncentracích vedou k projevům ochablosti, jsou spoluodpovědné za tvorbu ozonu a poškození lesů. Oxidy dusíku vznikají při vysokých maximálních teplotách a tlacích ve spalovacím prostoru. [7]

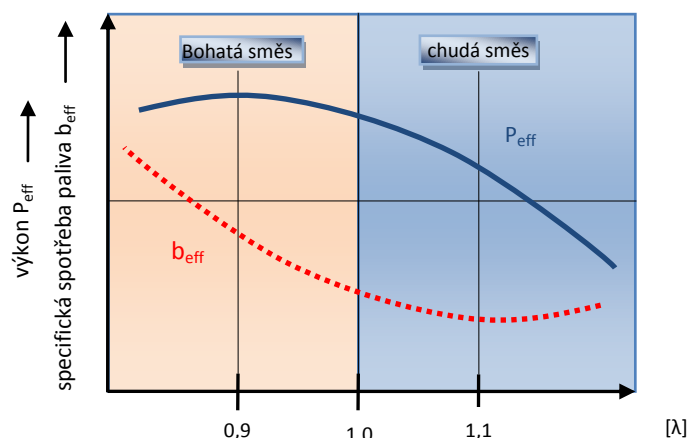
Sloučeniny olova: Působí na buňky v krvi a v kostní dřeni jako silné jedy. Sloučeniny olova vznikají pouze při spalování benzinových paliv, která jsou pro zvýšení odolnosti proti detonačnímu spalování obohacena olovem. V řadě zemí je již proto uzákoněno používání tzv. bezolovnatých paliv. [7]

Pevné látky: Vznikají při nedokonalém spalování ve formě částic (základ tvoří uhlovodíky nebo saze doplněné usazeninami). Usazeniny sloučenin HC na uhlovodíkové jádro jsou považovány za karcinogenní. Na rozdíl od naftového motoru je obsah částic u benzinového motoru zanedbatelný (20 až 200 x méně). [7]

1.4.2 Vliv hodnoty λ na emise:

Podíl jednotlivých škodlivin ve výfukových plynech je silně ovlivněn směšovací poměrem paliva a vzduchu, charakterizovaným součinitelem přebytku vzduchu λ . [7]

Při bohaté směsi, lambda v rozmezí $\lambda = 0,90 - 0,95$ má směs 5 – 10 % nedostatku vzduchu. Při těchto hodnotách lambda dosahují benzinové motory největších výkonů. Díky nedostatku vzduchu není palivo dokonale spáleno a měrná specifická spotřeba se zvyšuje. Provoz motoru v této oblasti má za následek zvyšující se podíly oxidu uhelnatého CO a nespálených uhlovodíků HC ve výfukových plynech.



Obr. 18

Nakonec ještě přidávám tabulku jednotlivých emisních norem:

Norma	rok	CO (g/km)		NOx (g/km)		HC + NOx (g/km)		HC (g/km)	PČ
EURO 1	1992	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18
EURO 2	1996	2,20	1,00	-	-	0,50	0,70*	-	0,08**
EURO 3	2000	2,30	0,64	0,15	0,50	-	0,56	0,20	0,05
EURO 4	2005	1,00	0,50	0,08	0,25	-	0,30	0,10	0,025
EURO 5	2009	1,00	0,50	0,06	0,18	-	0,23	0,10	0,005
EURO 6	2014	1,00	0,50	0,06	0,08	-	0,17	0,10	0,005

BENZÍNOVÉ MOTORY / NAFTOVÉ MOTORY * 0,90 pro motory s přímým vstřikováním
**0,10 pro motory s přímým vstřikováním

2 Ověřování vlastností Lambda regulace

2.1 Napěťová Lambda sonda

2.1.1 Škoda Forman 1.3

Jedná se o vůz s předním náhonem z roku 1994 s jednobodovým nepřímým vstřikováním a třicestným řízeným katalyzátorem. S čtyř-válcovým osmi-ventilovým zážehovým motorem typu OHV o objemu 1.3 litru.

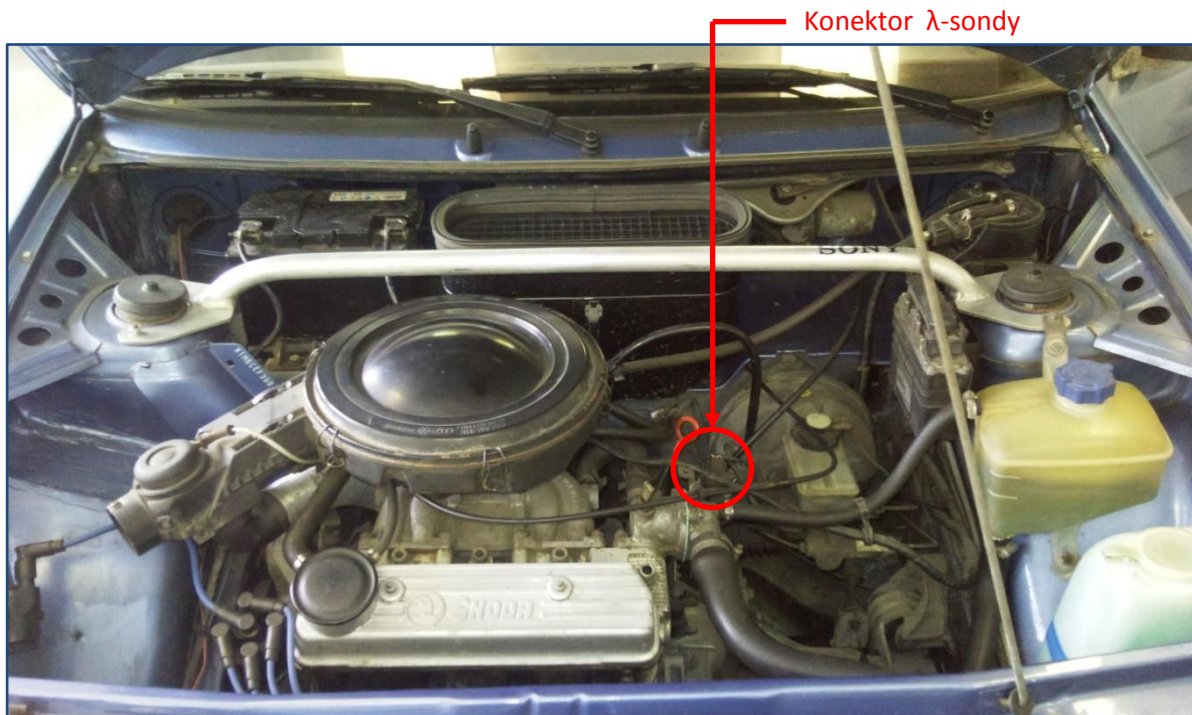
Druh λ -sond: Jedna napěťová čtyř-vodičová λ -sonda



Obr. 19

Postup měření lambda sondy: Na vypnutém studeném motoru, vyhledáme lambda sondu a připojovacími vodiči propícháme oba bílé vodiče. Před měřením odporu sondy, odpojíme konektor sondy od řídicí jednotky, abychom nedostali zkreslené hodnoty odporu, multimetrem změříme odpor vyhřívacího článku sondy.

Umístění konektoru lambda sondy:



Obr. 20 Pohled na motor



Obr. 21 Detail lambda sondy



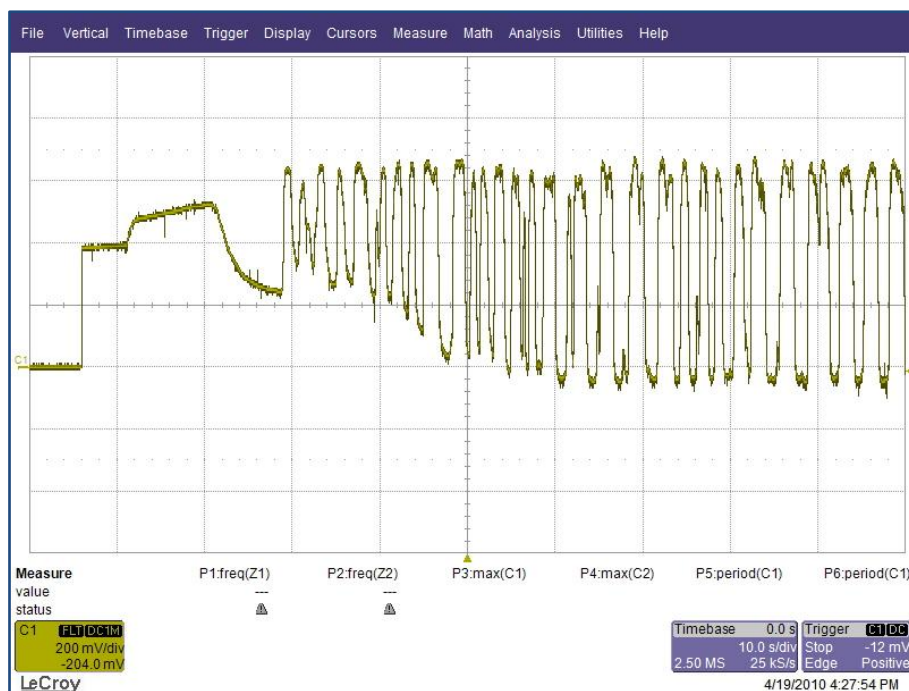
Obr. 22 Detail konektoru

Vyhřívací odpor sondy: $2,14 \Omega$

Pro měření napětí na vyhřívání sondy připojíme osciloskop na oba bílé vodiče. Konektory zpět připojíme k řídicí jednotce, spustíme osciloskop a nastartujeme.

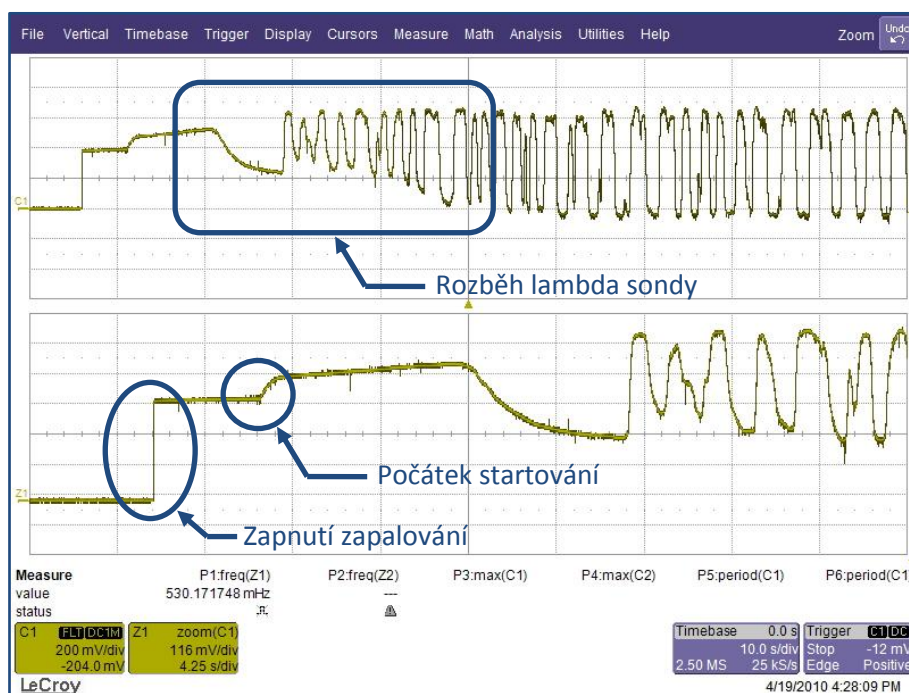
Pro měření napěťového signálu sondy připojíme osciloskop na černý a šedý vodič, z toho je černý vodič signál a šedý zem.

Měření signálu lambda sondy na studeném motoru:



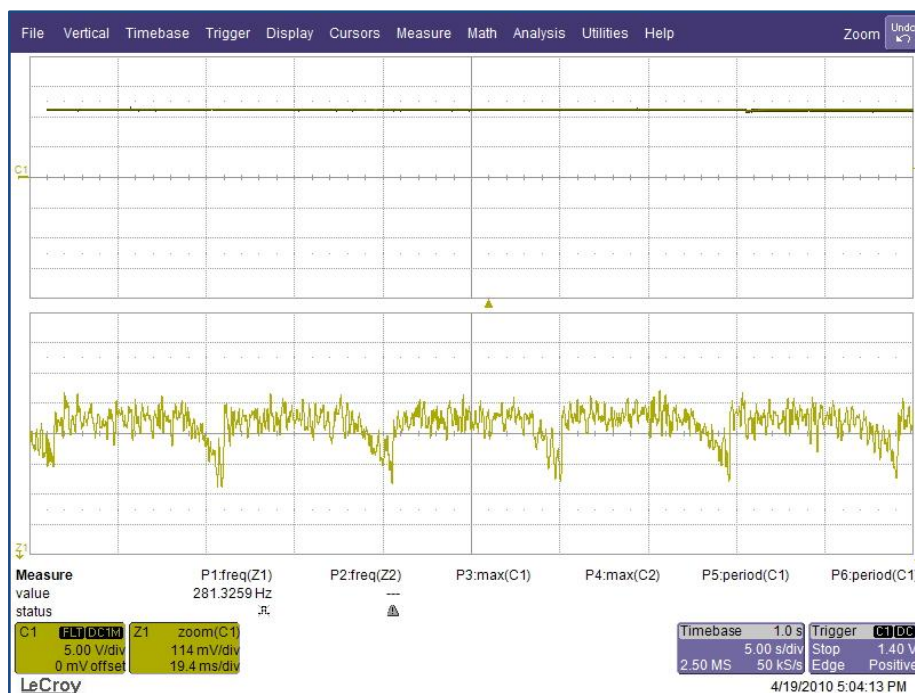
Obr. 23

Zde vidíme průběh signálu na sondě při startu studeného motoru. Jak je vidět z grafu, ze začátku trvá cca 30 sekund, než se sonda vyhřeje a začne podávat důvěryhodný signál.



Obr. 24

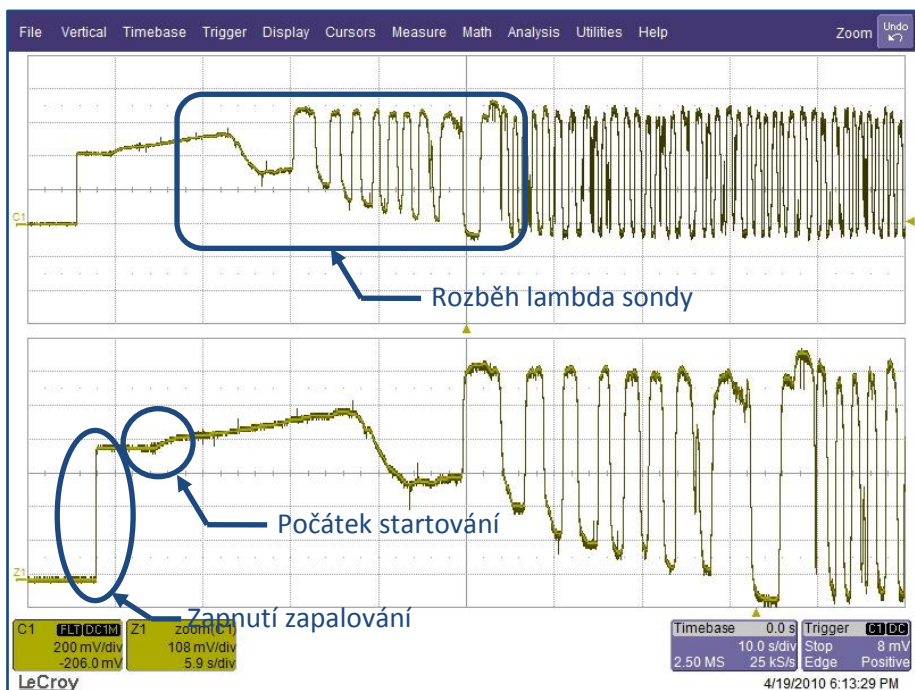
Na spodním detailu dobře vidíme okamžik zapnutí zapalování, startu motoru a poté rozběh lambda sondy. Poté až sonda dosáhne své provozní teploty, přibližně po 30 sekundách začne podávat důvěryhodný signál přibližně od 0 do 700 mV.



Obr. 25

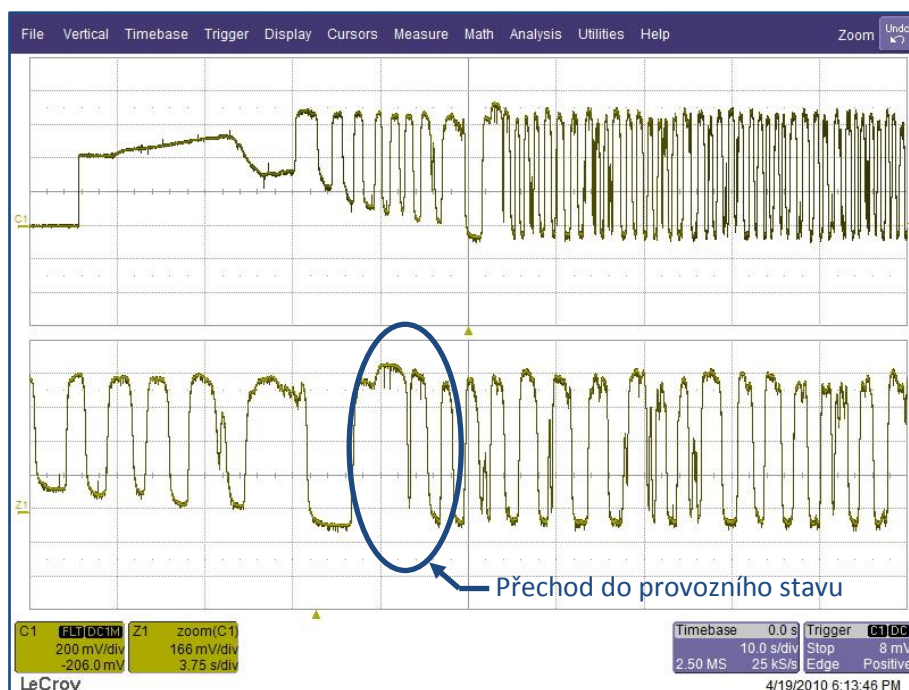
Zde můžeme vidět průběh napětí na vyhřívacím článku při startu studeného motoru, jelikož je sonda nevyhřátá potřebuje se zahřát na provozní teplotu a to napětím o hodnotě 12 V. Ze spodního detailu můžeme vidět, že se jedná o pulzní napájení.

Měření signálu lambda sondy na zahřátém motoru:



Obr. 26

Taky vidíme průběh napětí na sondě při zahřátém motoru, na začátku signálu sledujeme opět první změnu při zapnutí zapalování, další při startování dále poté rozběh sondy.



Obr. 26

A zde si můžeme všimnout změny periody při přechodu do provozního stavu sondy, oproti studenému motoru vidíme i zrychlení střídání stavů, na studeném motoru byla perioda přibližně 2,28 s a zde vidíme periodu přibližně 1 s.

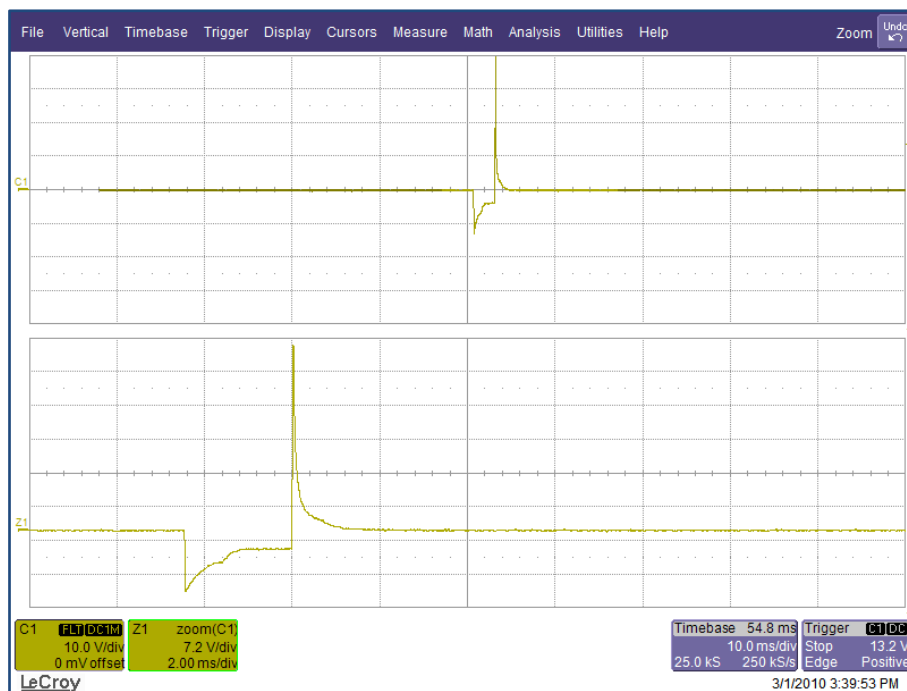
Měření signálu vstřikovače paliva v závislosti na signálu λ :

Podstatou měření bylo, že jsem odpojil lambda sondu od řídicí jednotky a místo ní jsem ke konektoru připojil laboratorní zdroj a na něm měnil napětí v rozmezí 200 – 800 mV, což odpovídá oblastem chudé (200 mV) až bohaté směsi (800 mV). Toto měření jsem prováděl při volnoběžných otáčkách motoru na již zahřátém motoru.



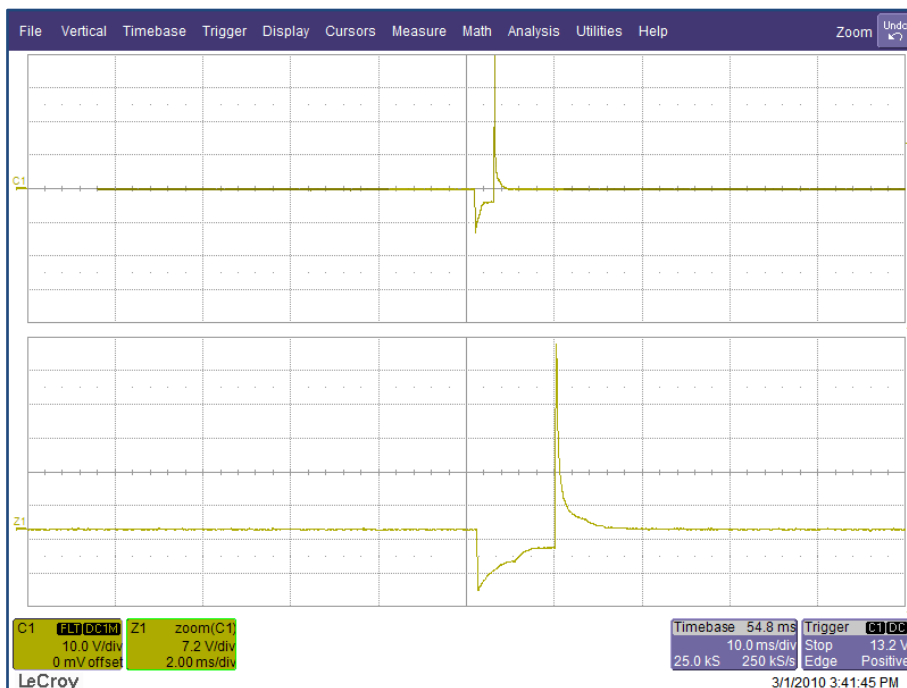
Obr. 27

V prvním případě jsem na laboratorním zdroji nastavil napětí 450 mV, což odpovídá hodnotě $\lambda = 1$. Takže jsem motoru „řekl“, že spaluje ideální stochiometrickou směs. A na tomto obrázku vidíme odpovídající reakci řídicí jednotky ve formě délky vstřiku vstřikovače.



Obr. 28

Při další měření jsem na laboratorním zdroji nastavil hodnotu napětí na 200 mV, čili na hodnotu chudé směsi. A vidíme, že řídicí jednotka reagovala na provoz motoru v tomto režimu prodloužením doby vstřiku, aby směs dostatečně obohatila a tak vykompenzovala poměr směsi paliva a vzduchu na stochiometrickou směs.



Obr. 29

Zde, u posledního měření, jsem na laboratorním zdroji nastavil napětí 800 mV, které odpovídá hodnotě bohaté směsi. A můžeme si všimnout, že řídicí jednotka reagovala na provoz motoru v tomto režimu, okamžitým zkrácením doby vstřiku, aby směs dostatečně ochudila a tak vykompenzovala poměr směsi paliva a vzduchu na stechiometrickou směs. Při měření se dokonce stal takový případ, že řídicí jednotka ochuzovala směs tak dlouho, až začal být chod motoru nepravidelný a motor se zastavil.

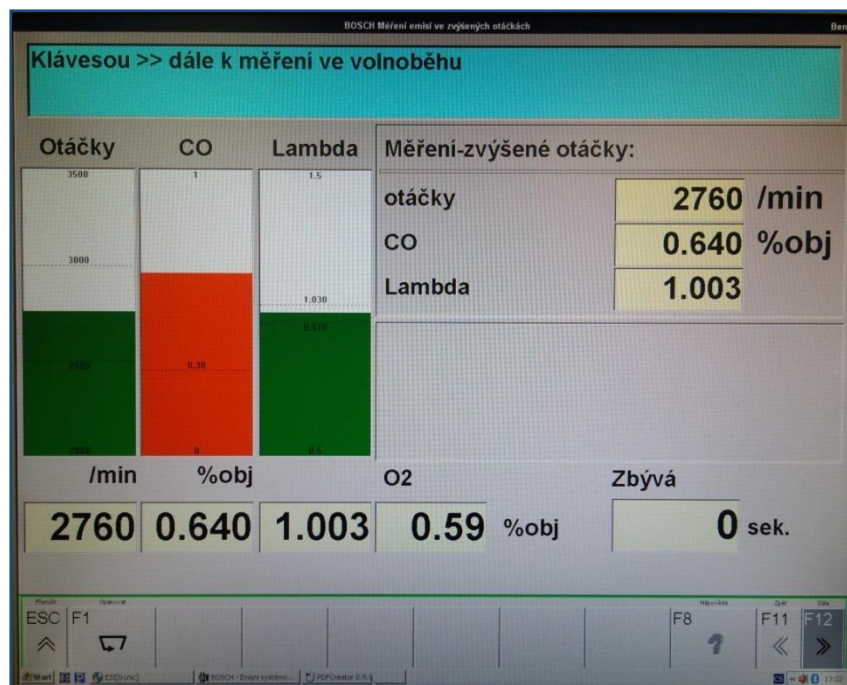
Měření emisí výfukových plynů motoru:

Měření emisí probíhalo třikrát a to při různých provozních stavech motoru.

- 1) Lambda sonda připojena k řídicí jednotce.
- 2) Lambda sonda odpojena od řídicí jednotky a místo ní zapojen napěťový zdroj:
 - a. Napěťový zdroj nastaven na chudou směs
 - b. Napěťový zdroj nastaven na bohatou směs

1) Připojená lambda sonda

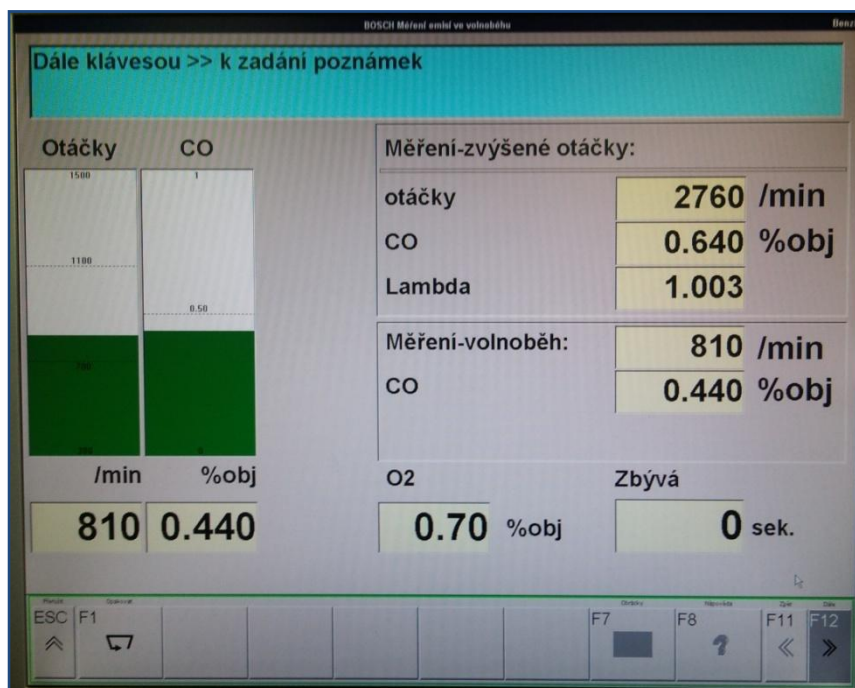
První část měření emisí probíhá ve zvýšených otáčkách po dobu 30 sekund.



Obr. 30

Z výsledku tohoto měření můžeme pozorovat, že lambda regulace probíhá v pořádku, ale je zde přibližně dvojnásobná hodnota emisí CO než stanovuje limit.

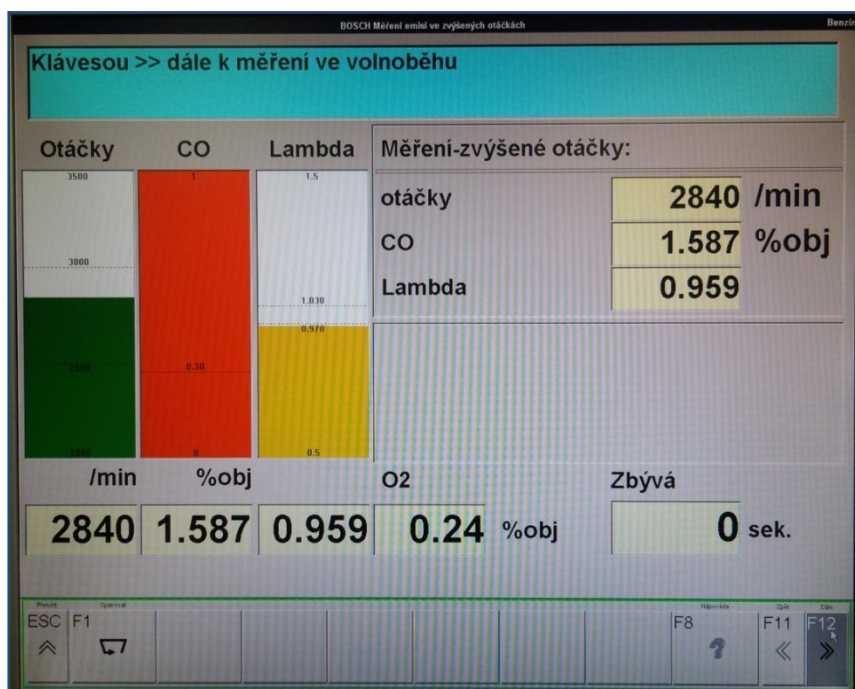
Další část měření emisí probíhá ve volnoběžných otáčkách, zase po dobu 30 sekund.



Obr. 31

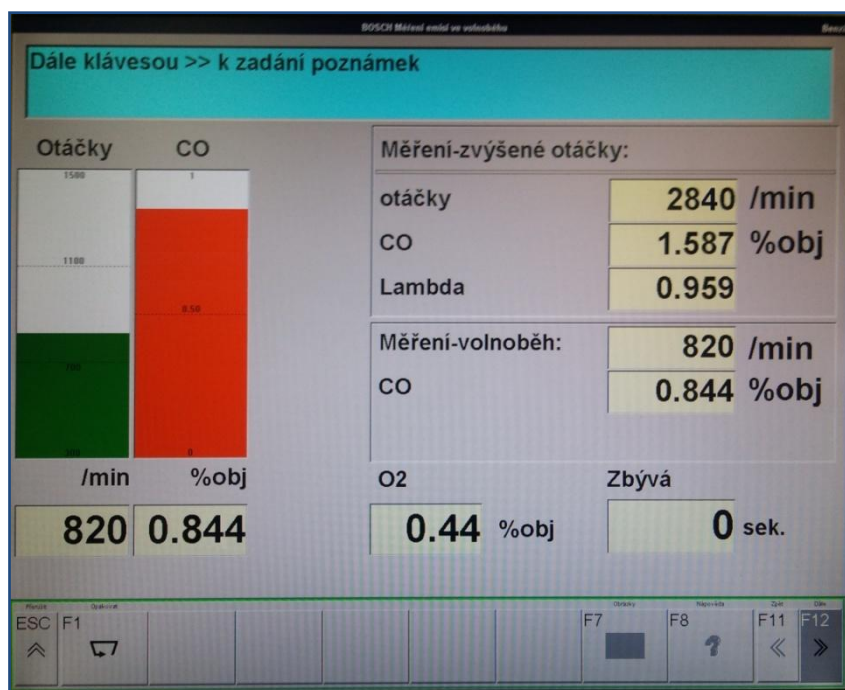
Z výsledku této části si můžeme všimnout, že i zde je lambda regulace bezproblémová a také, že emise CO jsou při volnoběžných otáčkách v pořádku.

- 2) Lambda sonda odpojena od řídicí jednotky a místo ní zapojen napěťový zdroj - nastaven na chudou směs.



Obr. 32

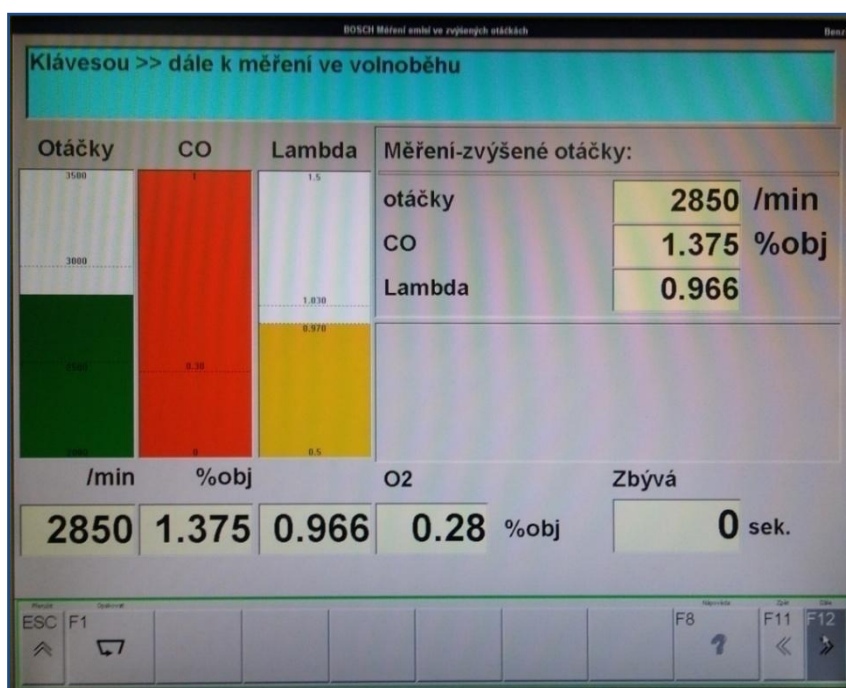
Vidíme zde, že řídicí jednotka se snaží obohatit směs, aby ji vyregulovala na stechiometrický poměr. Výsledkem je hodnota lambda mimo hodnotu 1 a výrazné zvýšení emisí CO.



Obr. 33

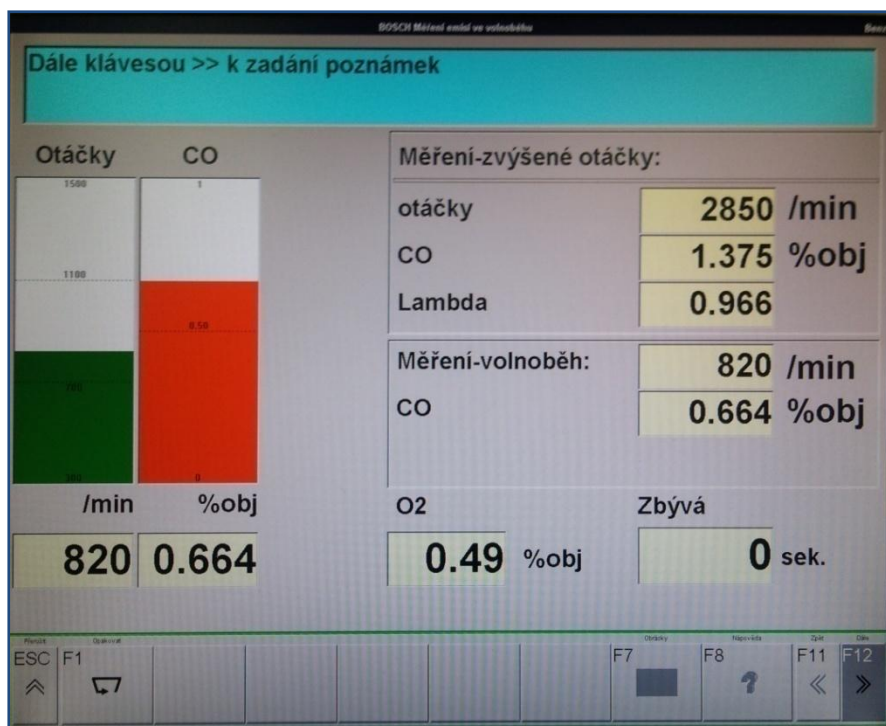
U měření v oblasti volnoběžných otáček dochází také k výraznému zvýšení emisí CO.

- 3) Lambda sonda odpojena od řídicí jednotky a místo ní zapojen napěťový zdroj - nastaven na bohatou směs.



Obr. 34

Vidíme zde, že řídicí jednotka se snaží ochudit směs, aby ji vyregulovala na stechiometrický poměr, jenže tím se ještě více vychyluje od skutečného stechiometrického poměru, jelikož má za to, že je směs bohatá, i když ve skutečnosti není. Výsledkem je hodnota lambda mimo hodnotu 1 a výrazné zvýšení emisí CO, sice ne tak velké jako u chudé směsi, ale i tak dost výrazné.



Obr. 35

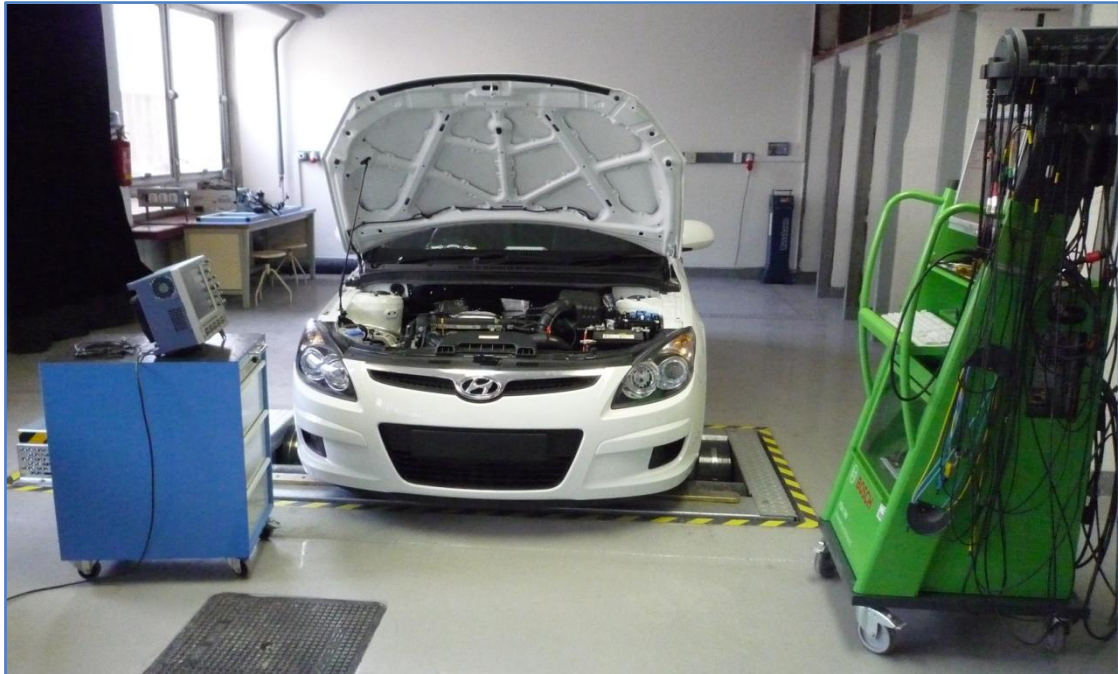
U měření v oblasti volnoběžných otáček dochází také k výraznému zvýšení emisí CO, ale zase ne tak výraznému jako v předchozím případě.

Závěr: Tímto měřením jsem si ověřil, že lambda sonda automobilu pracuje bez problémů, nenastává u ní ani zpoždění doby do provozuschopnosti, ani zpoždění doby reakce. Také vyhřívání sondy pracuje jak má. Hodnota výstupního signálu také odpovídá dobré lambda sondě. I emise motoru potvrdili, že regulace lambda probíhá v pořádku. Dále jde s emisí poznat, že v největším případě bude už opotřebovaný třicestný katalyzátor vozidla a to díky zvýšených emisí CO a zvýšenému obsahu kyslíku ve výfukových plynech, který by byl jinak snížen vlivem oxidace v katalyzátoru.

2.1.2 Hyundai i30 1.4

Jedná se o vůz s předním náhonem z roku 2008 s vícebodovým vstřikováním a třicestným řízeným katalyzátorem. S čtyř-válcovým šestnácti-ventilovým zážehovým motorem o objemu 1.4 litru.

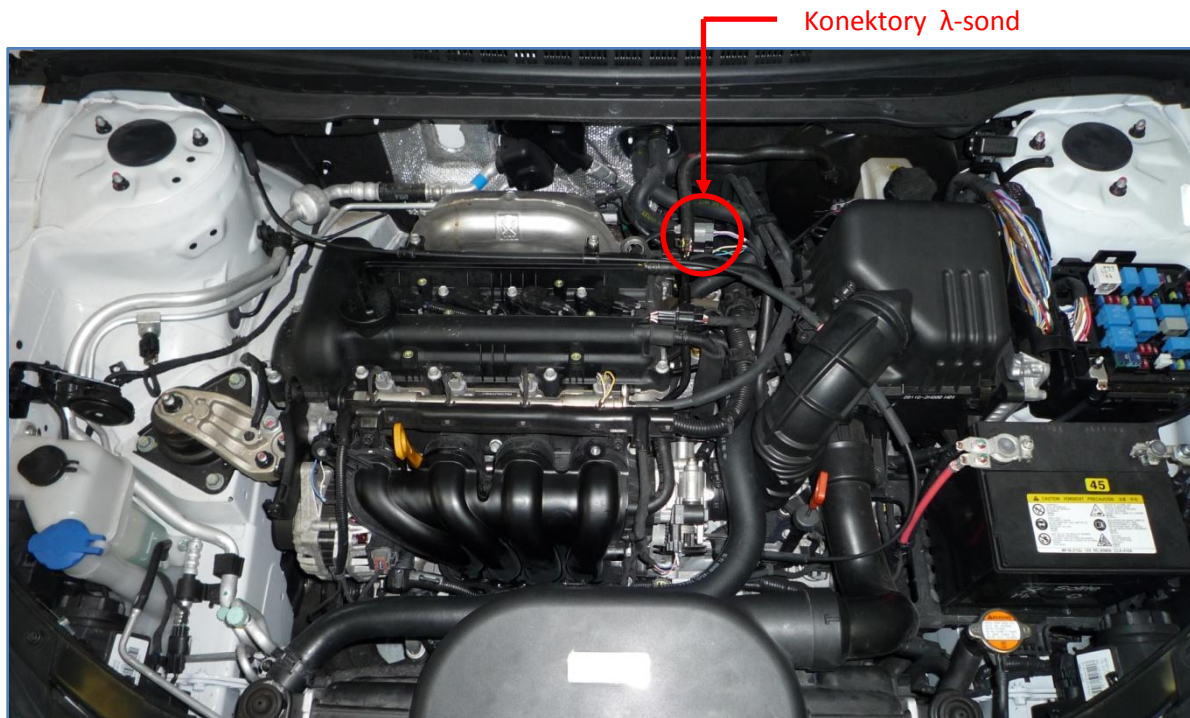
Druh λ -sond: Dvě napěťové čtyř-vodičové λ -sondy



Obr. 36

Postup měření lambda sondy: Je v podstatě stejný jako u předchozího měření, jen s tím rozdílem, že zde měříme dvě lambda sondy. Čili na vypnutém studeném motoru, vyhledáme lambda sondy nebo jejich konektory a připojovacími vodiči propícháme oba bílé vodiče. Před měřením odporu sond, odpojíme konektory sond od řídicí jednotky, abychom nedostali zkreslené hodnoty odporu, multimetrem změříme odpor vyhřívacího článku sondy.

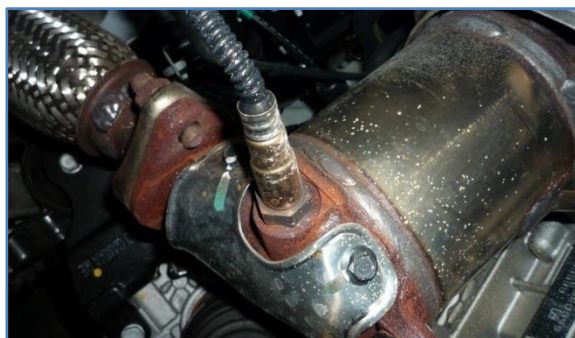
Umístění konektoru lambda sondy:



Obr. 37 Pohled na motor



Obr. 38 Detail první lambda sondy



Obr. 39 Detail druhé lambda sondy

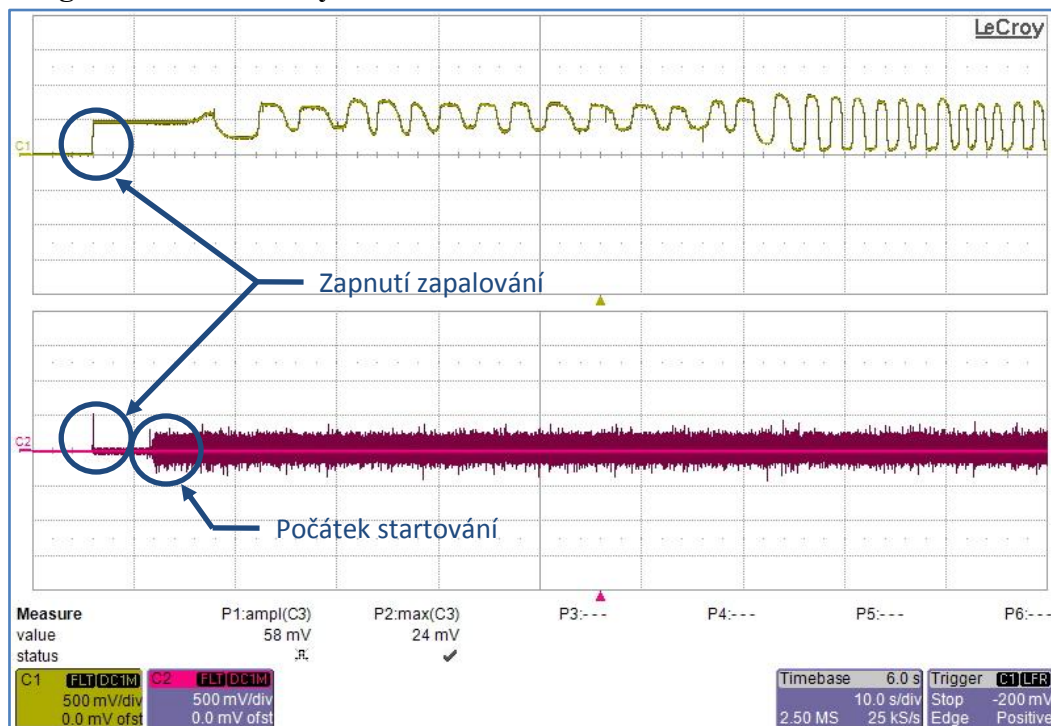
Vyhřívací odpor první sondy: 8,84 Ω

Vyhřívací odpor druhé sondy: 9,31 Ω

Pro měření napětí na vyhřívání sond připojíme osciloskop na oba bílé vodiče obou sond. Konektory zpět připojíme k řídicí jednotce, spustíme osciloskop a nastartujeme.

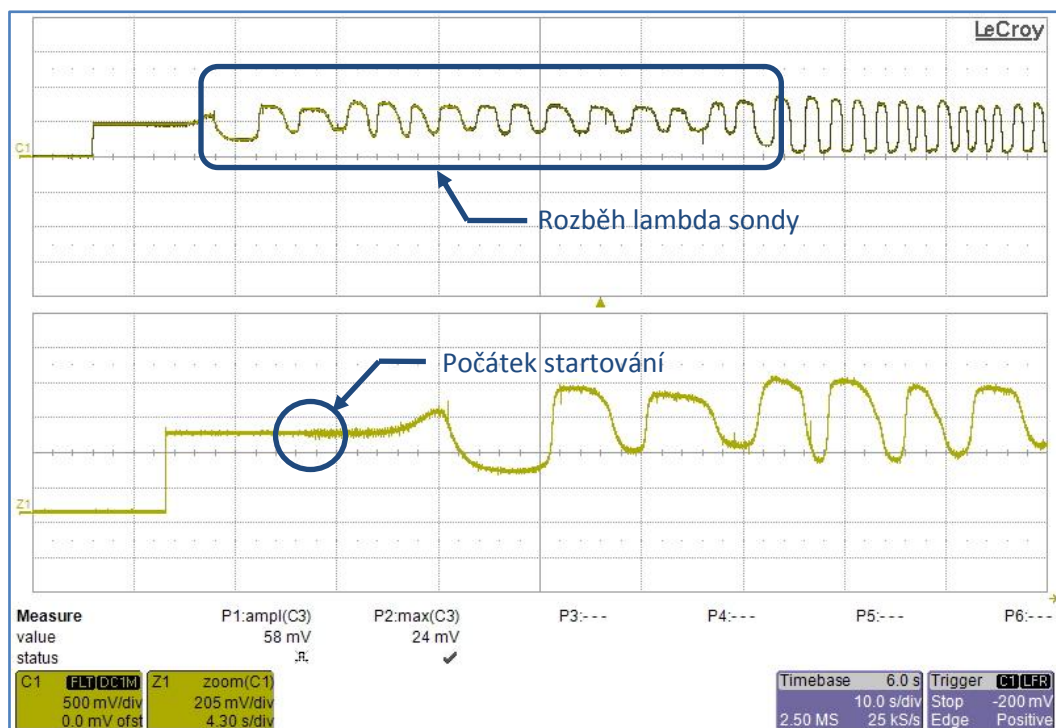
Pro měření napěťového signálu sond připojíme osciloskop na černý a šedý vodič každé sondy, z toho je černý vodič signál a šedý zem.

Měření signálu lambda sondy na studeném motoru:



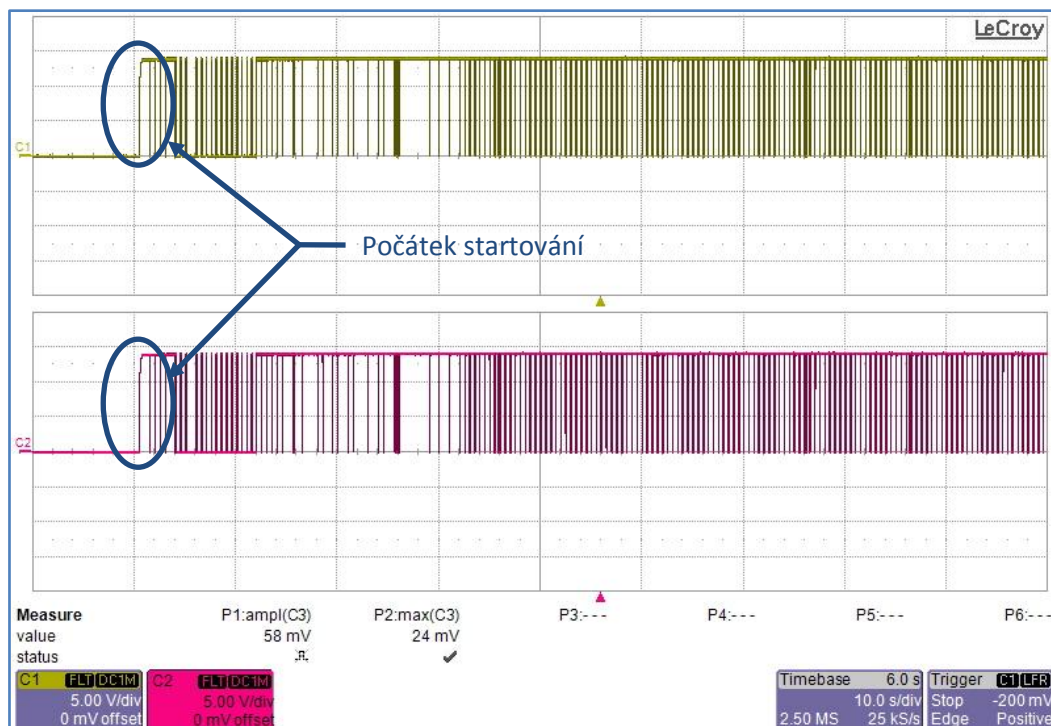
Obr. 40

Zde vidíme průběh signálu na sondách při startu studeného motoru. Jak je vidět z grafů, ze začátku trvá nějakou dobu, než se první a druhá sonda vyhřeje a začne podávat důvěryhodný signál.



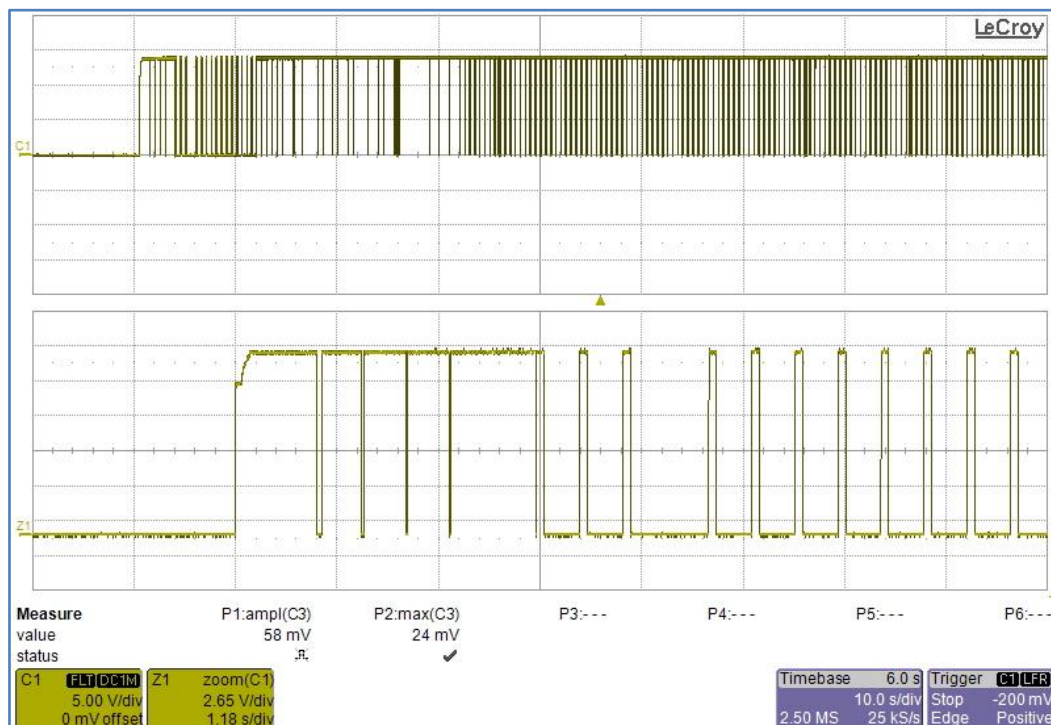
Obr. 41

Tady máme zobrazen detail signálu první sondy.



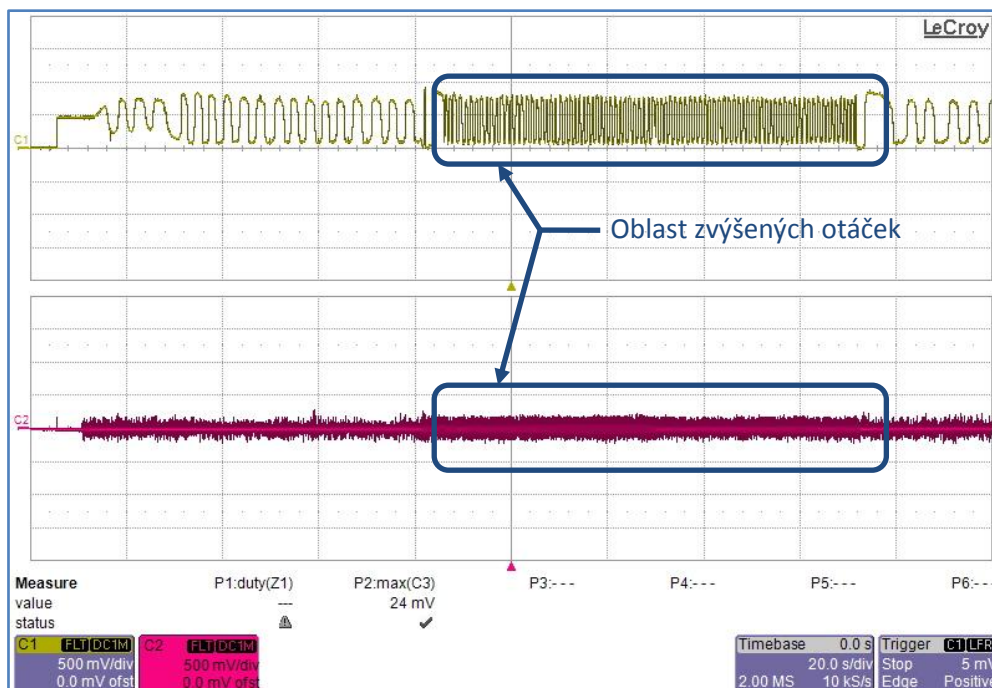
Obr. 42

Na tomto obrázku vidíme průběhy napětí na vyhřívacích člancích sond. Vyhřívání se spustí až po nastartování motoru, pouhé zapnutí zapalování nestačí. Oba signály jsou identické. Opět se jedná o pulzní napětí o hodnotě 0 – 14 V.



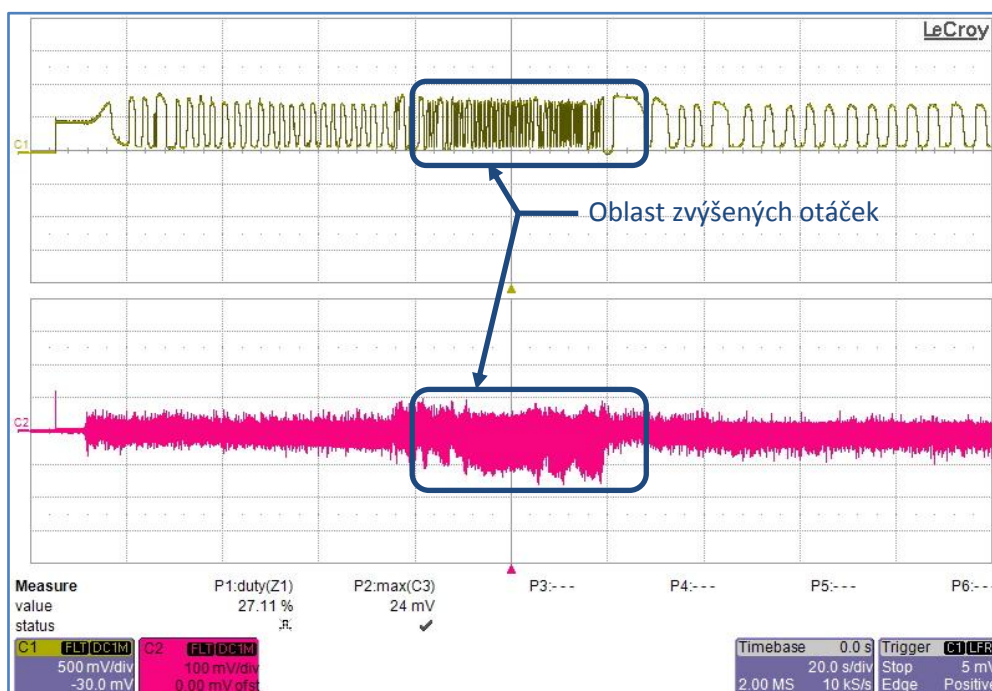
Obr. 43

Na tomto obrázku máme zobrazen detail napětí na vyhřívacím článku první sondy.



Obr. 44

Na tomto grafu je zachycen úsek startování, přechodu sondy do pracovního stavu, část kdy motor běží volnoběžnými otáčkami, další část kdy je motor vytočen do 3000 otáček a poslední část kdy se opět vrací k volnoběžným otáčkám. Horní signál je od lambda sondy před katalyzátorem, spodní od lambda sondy za katalyzátorem. Motor je vytáčen bez zařazení jakéhokoliv převodového stupně, čili jeho jedinou zátěží jsou jeho pohybové části. Během zvýšení otáček pozorujeme změnu frekvence signálu, která odpovídá rychlejší změně střídání směsi chudá-bohatá, bohatá chudá.

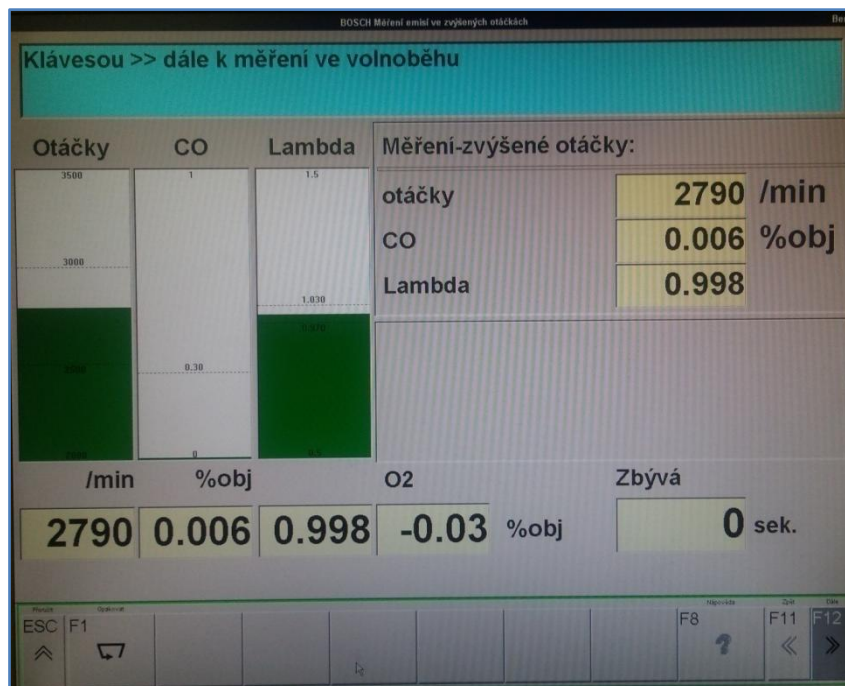


Obr. 45

Toto měření je obdobné předcházejícímu s tím rozdílem, že automobil byl zatížen pomocí válcové výkonové brzdy a to tažnou silou 2500 N. Otáčky motoru byly zvýšeny až na 4000 /min. Pozorujeme, že zde došlo k zrychlení změny frekvence oproti minulému případu.

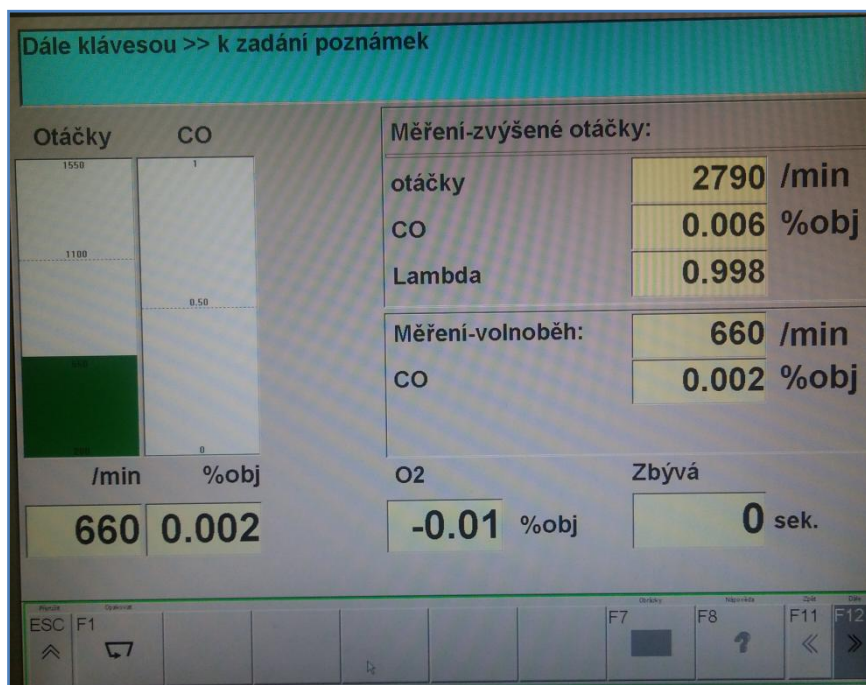
Měření emisí výfukových plynů motoru:

Měření emisí probíhalo s použitím válcové výkonové zkušebny. Tažná síla byla nastavena na 2000 N.



Obr. 46

Výsledky měření v oblasti zvýšených otáček odpovídají bezproblémovému chodu lambda regulace, také výfukový systém je v pořádku.



Obr. 47

Výsledky měření v oblasti volnoběžných otáček je také odpovídají bezproblémovému stavu vozidla.

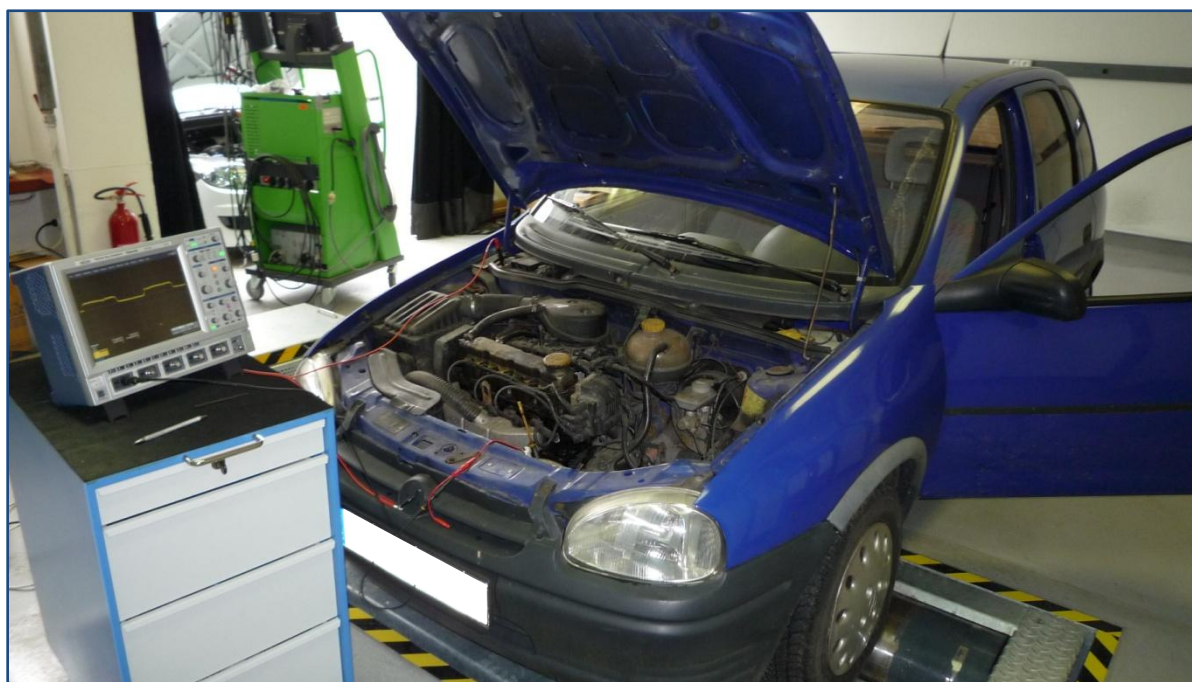
Závěr: Měřením tohoto vozu jsem si ověřil, že obě lambda sondy pracují bez problémů, nenastává u nich ani zpoždění doby do provozuschopnosti, ani zpoždění doby reakce. Díky bezproblémovému vyhřívání sond se sondy rychle vyhřejí na provozní teplotu. Lépe zde můžeme pozorovat pulzní napájení vyhřívání, které pružně reaguje na teplotu sondy. Lambda regulace je schopna uregulovat složení i při větším zatížení motoru a vysokých otáčkách. Emise vozu jsou v naprostém pořádku. Katalyzátor pracuje také bez problémů, čemuž odpovídá signál druhé lambda sondy, jelikož v katalyzátoru dochází k oxidaci, tudíž dochází k snižování obsahu kyslíku ve výfukových plynech.

2.2 Odporová Lambda sonda

2.2.1 Opel Corsa 1.2

Jedná se o vůz s předním náhonem z roku 1994 s jednobodovým nepřímým vstřikováním a třicestným řízeným katalyzátorem. S čtyř-válcovým osmi-ventilovým zážehovým motorem o objemu 1.2 litru.

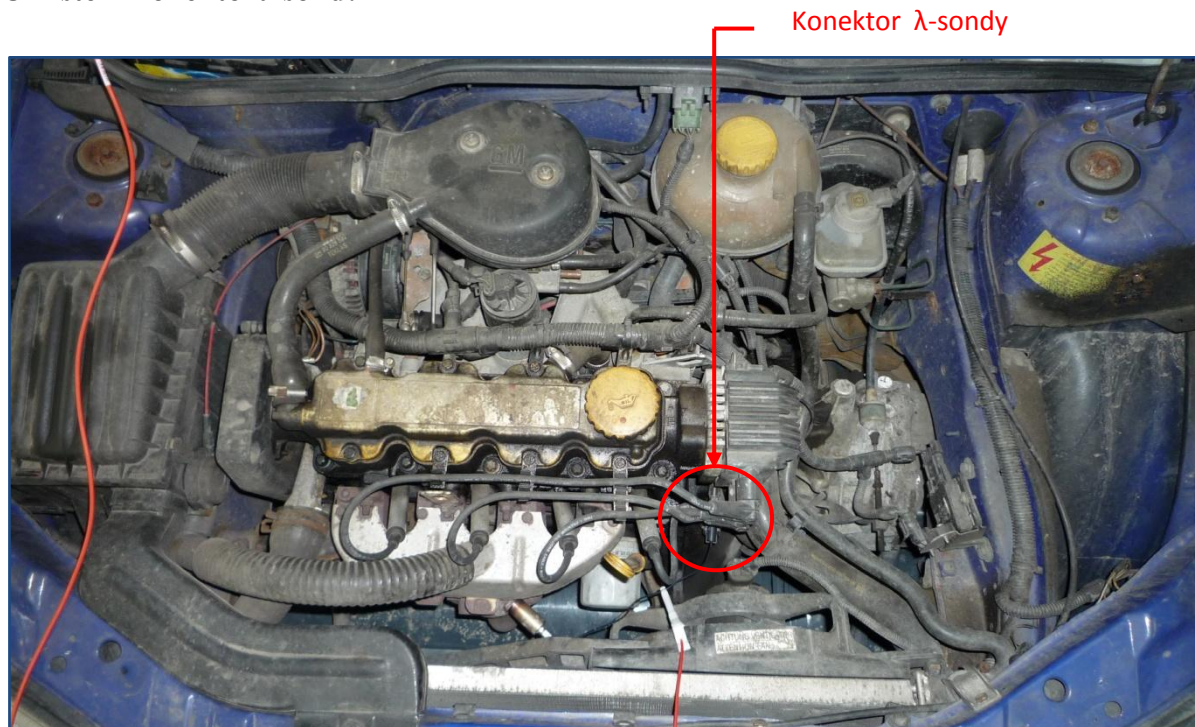
Druh λ -sond: Jedna odporová jedno-vodičová λ -sonda



Obr. 48

Postup měření lambda sondy: Postup měření u tohoto vozu je velmi jednoduchý. Tento typ lambda sondy nemá žádné vyhřívání, a jelikož má pouze jeden vodič (signálový), tak na tento vodič připojíme osciloskop.

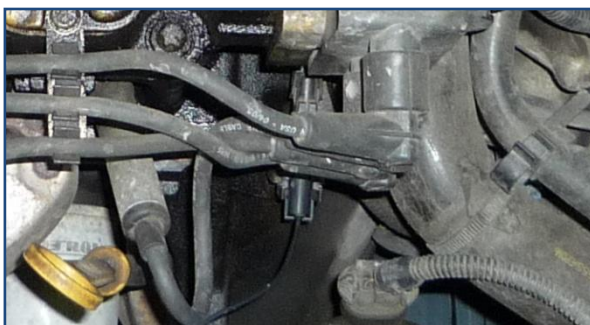
Umístění konektorů sond:



Obr. 49 Pohled na motor

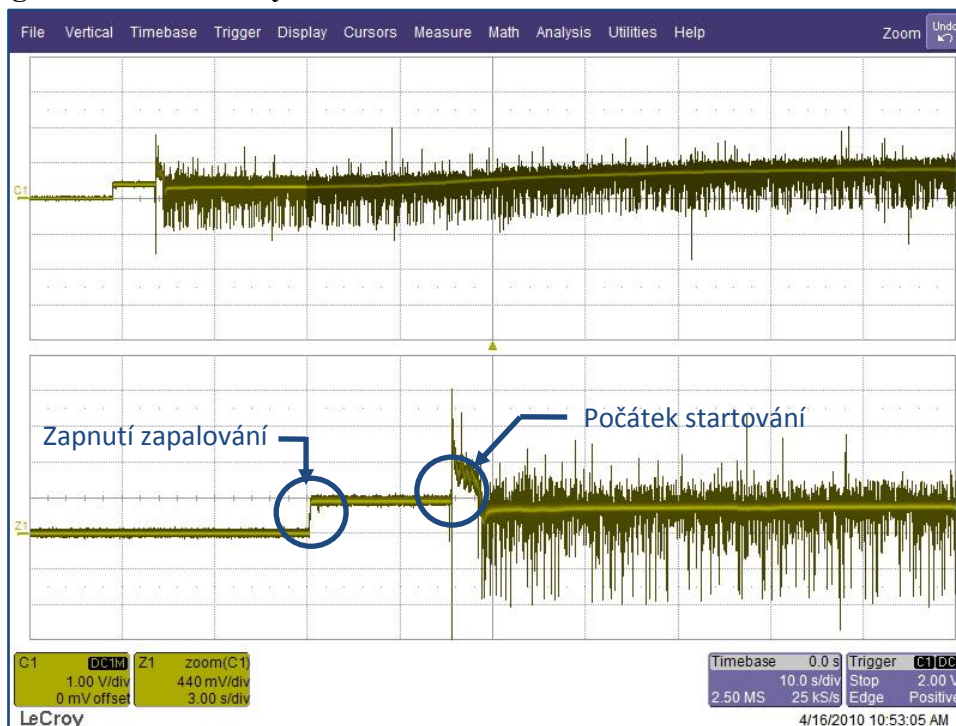


Obr. 50 Detail odporové jedno-vodičové



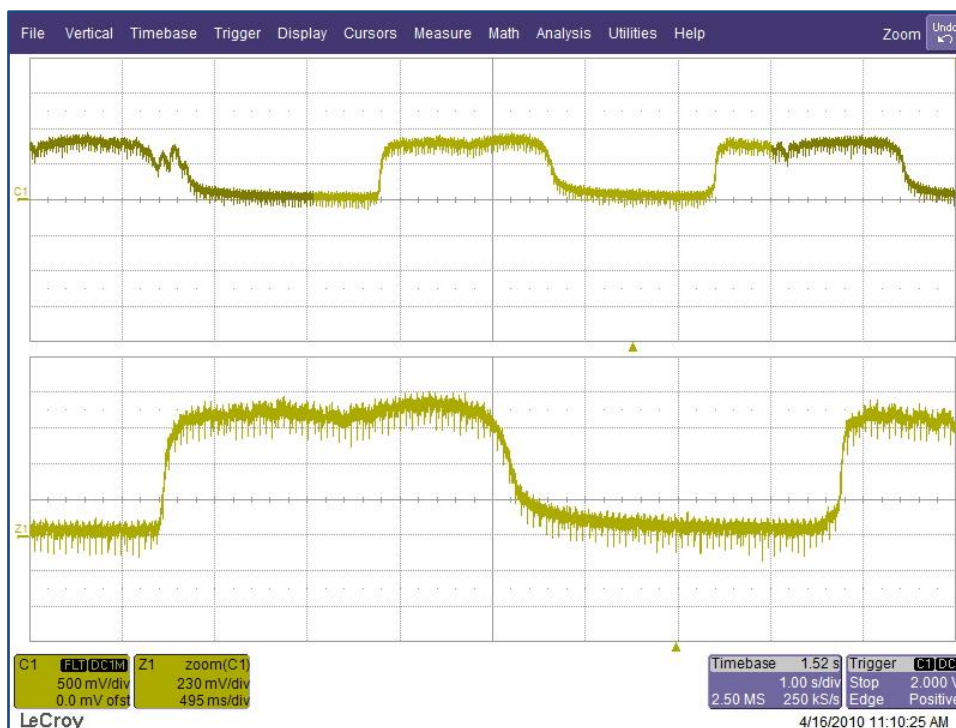
Obr. 51 Detail konektoru sondy

Měření signálu lambda sondy na studeném motoru:



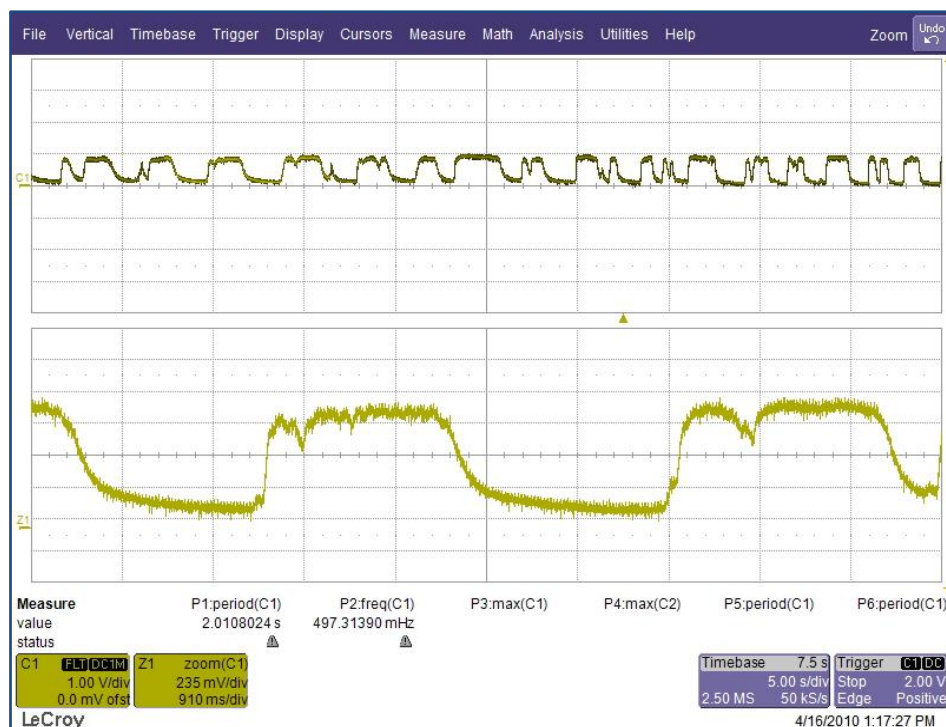
Obr. 52

Průběh signálu na sondě po startu studeného motoru. Můžeme zde vidět okamžiky před startem motoru, zapnutí zapalování, start motoru a nabíhání signálu sondy. Jelikož se sonda musí zahřát motorem, aby se dostala na úroveň provozní teploty, trvá zahřívání déle.



Obr. 53

Průběh signálu při zahřátém motoru a při volnoběžných otáčkách. Díky toho, že motor už dostatečně vyhřál lambda sonda začala podávat důvěryhodný signál.



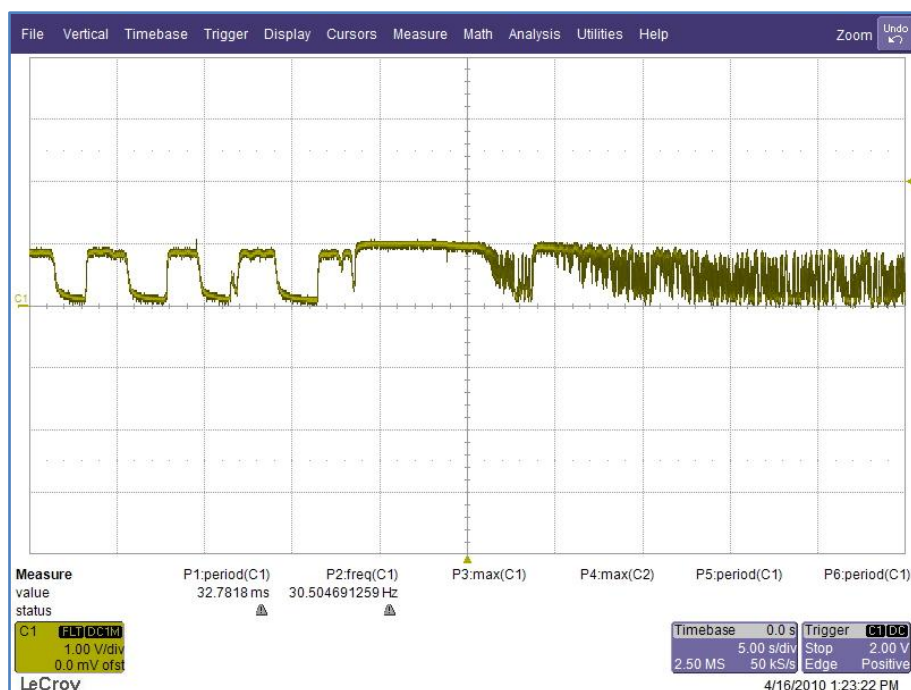
Obr. 54

Na tomto grafu je zachycen úsek běžícího zahřátého motoru při volnoběžných otáčkách a po 30 sekundách jsou prudce zvýšeny otáčky na hodnotu 2500 /min. Detail grafu nám ukazuje signál před zvýšením otáček.



Obr. 55

Zde je zachycen stejný průběh a v detailu grafu vidíme již část signálu, po zvýšení otáček na hodnotu 2500 /min. Vidíme, že došlo ke snížení periody signálu ze 4 s na 3 s. Takováto rychlost změny signálu je odpovídající pro správně fungující sondu.



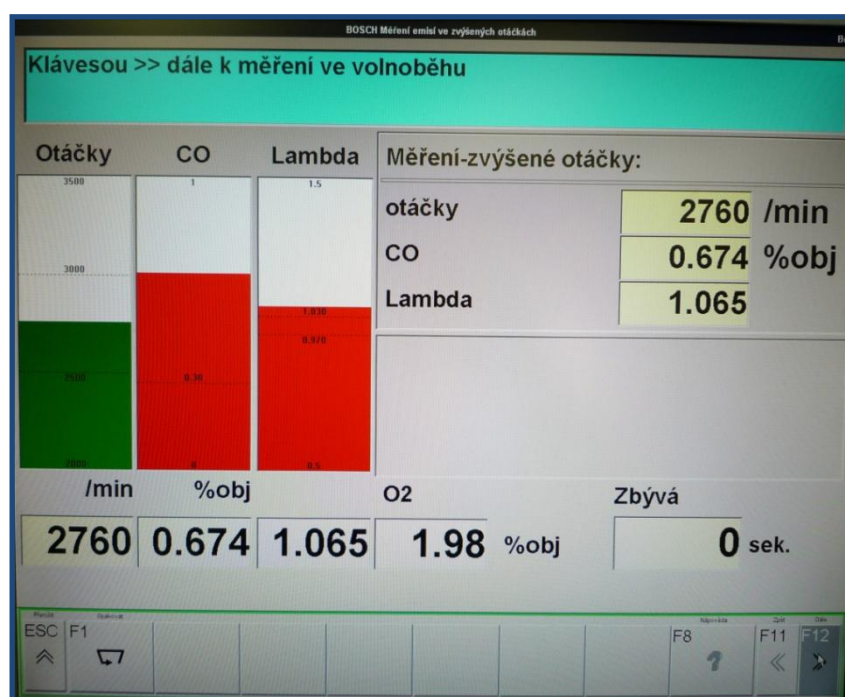
Obr. 56

Tento průběh signálu byl zachycen při zahřátém motoru s počátečními volnoběžnými otáčkami a poté po 20 sekundách byly otáčky prudce zvýšeny na hodnotu 3500 /min. Vidíme, že sondě trvalo téměř dvě periody signálu, než začala podávat věrohodný signál. Za toto zpoždění může jednak dopravní zpoždění při regulaci, ale také pomalost reakce tohoto druhu sond.

Měření emisí

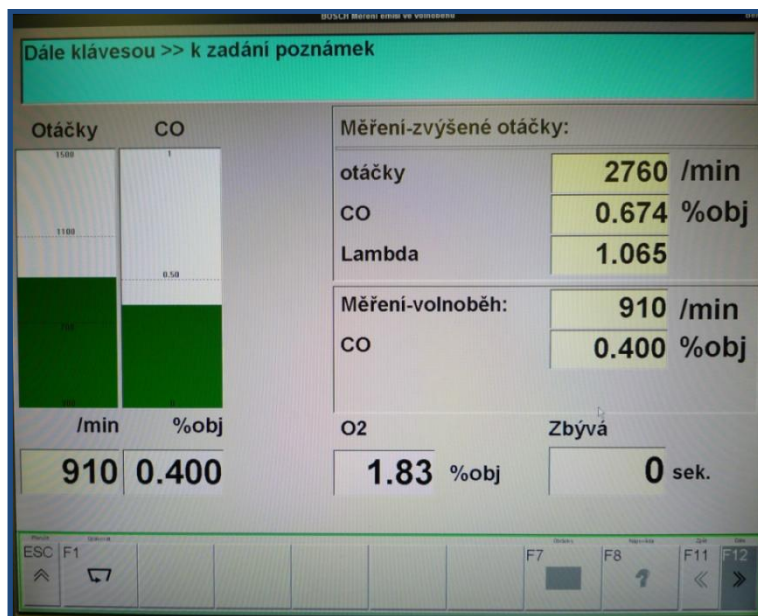
Měření emisí probíhalo dvakrát, poprvé s lambda sondou připojenou k řídicí jednotce a podruhé s lambda sondou odpojenou od řídicí jednotky a zapojeným napěťovým zdrojem.

1) Připojená lambda sonda



Obr. 57

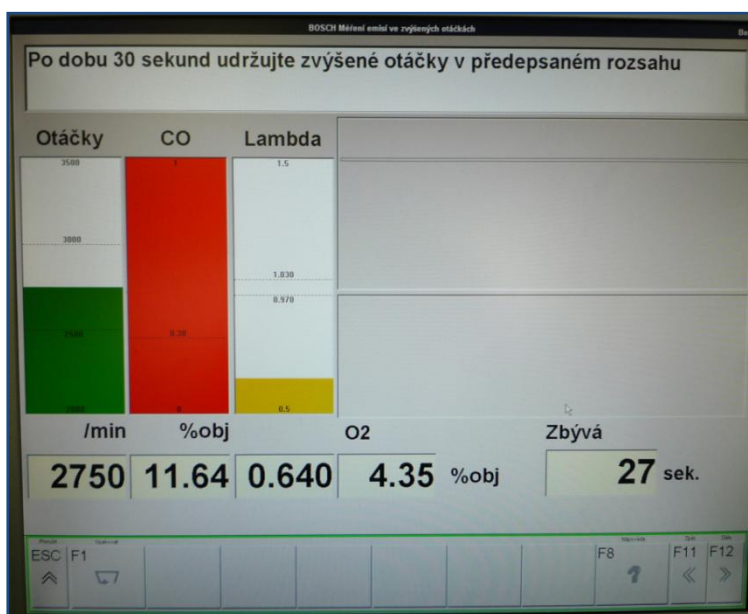
Z výsledku tohoto měření ve zvýšených otáčkách můžeme pozorovat, že lambda regulace neprobíhá úplně v pořádku je zde mírná odchylka od $\lambda = 1$. Vzhledem k tomu, že tato sonda byla v době měření nová, bude nejspíš chyba ve složení směsi (palivový filtr, vzduchový filtr, svíčky, apod.). Nebo sonda nestíhá ve zvýšených otáčkách uregulovat složení směsi na stechiometrický poměr. A jelikož je zde zvýšená hodnota emisí CO, bude nejspíš také problém s katalyzátorem vozu.



Obr. 58

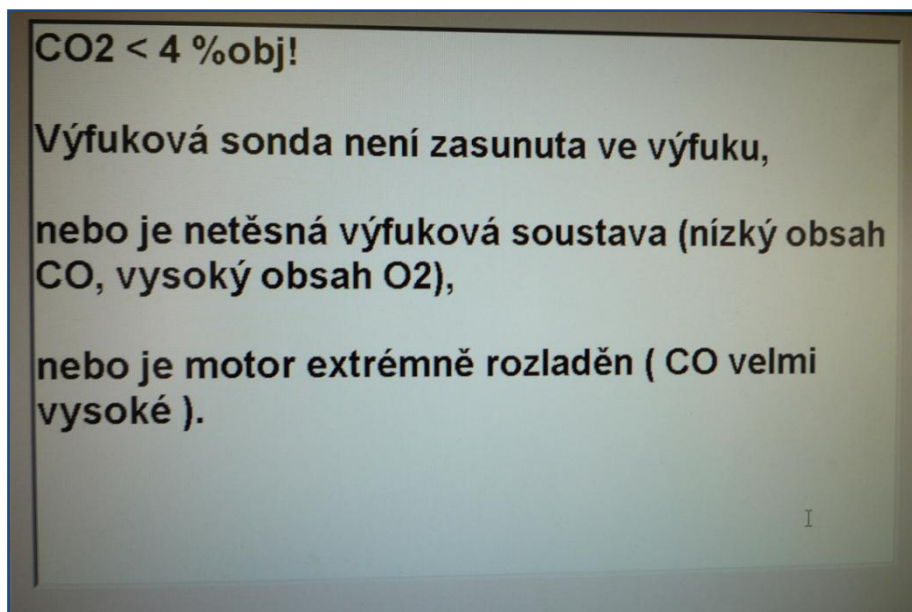
Z výsledku této části si můžeme všimnout, že i zde je naopak lambda regulace bezproblémová a také, že emise CO jsou při volnoběžných otáčkách v pořádku.

- 2) Lambda sonda odpojena od řídicí jednotky a místo ní zapojen napěťový zdroj - nastaven na chudou směs.



Obr. 59

V tomto případě vidíme, že řídicí jednotka se snaží obohatit směs, aby ji nastavila na stechiometrický poměr. Výsledkem je hodnota lambda výrazně mimo hodnotu 1 a výrazné zvýšení emisí CO.



Obr. 60

Po určité době měření se zobrazilo toto varovné okno. V našem případě se jedná o poslední možnost, čili motor byl extrémně rozladěn, lambda regulace řídicí jednotky si nedovedla poradit s trvale chudou směsí, neustále sondě důvěřovala, a tudíž obohacovala směs o palivo.

Závěr: U tohoto měření jsem ověřil, že lambda sonda pracuje ve volnoběžných otáčkách bez problémů, ale při prudkém zrychlení má delší dobu reakce, to je dáno konstrukcí sondy tento druh sond se dnes už moc nepoužívá, právě díky jejich „pomalosti“. Vyhřívání sondy je také viditelně pomalejší vlivem absence vyhřívacího článku uvnitř sondy. Z emisí motoru můžeme zjistit, že něco nebude v pořádku buď s tvorbou směsi, nebo katalyzátorem, jelikož je zde také zvýšený obsah kyslíku ve výfukových plynech, je také možné, že je problém s obojím.

2.3 Širokopásmová Lambda sonda

2.3.1 Škoda Octavia 2.0 FSI

Jedná se o vůz náhonem 4x4 z roku 2004 s vícebodovým přímým vstřikováním a dvěma třicestnými řízenými katalyzátory. S čtyř-válcovým šestnácti-ventilovým zážehovým motorem o objemu 2.0 litru.

Druh λ -sond: Dvě širokopásmové λ -sondy čtyř-vodičové, 3 napěťové λ -sondy a NOx senzor.



Obr. 61

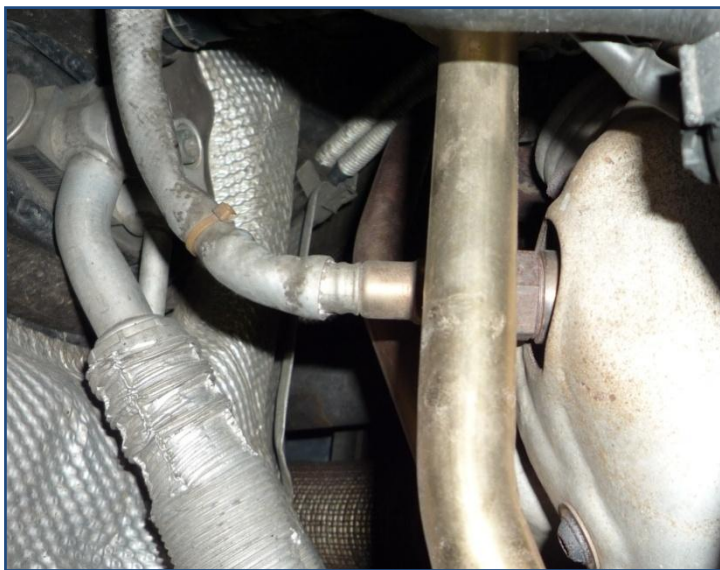
Postup měření lambda sondy: Na vypnutém studeném motoru, vyhledáme konektory širokopásmových lambda sond a přípojovacími vodiči propíchneme bílý a šedý vodič a multimetrem změříme odpor vyhřívacího článku každé sondy. Před měřením odporu sond, odpojíme sondy od řídicí jednotky, abychom nedostali zkreslené hodnoty odporu, Poté konektory opět zapojíme.

Umístění konektorů sond:

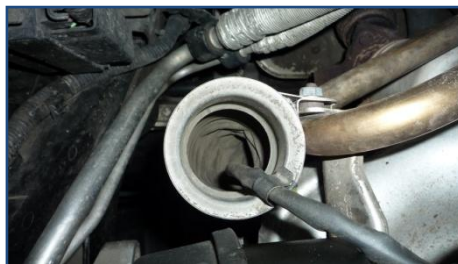


Konektory širokopásmových λ -sond

Obr. 62



Obr. 63 Detail první sondy



Obr. 64 Vedení k druhé sondě



Obr. 65 Detail konektorů

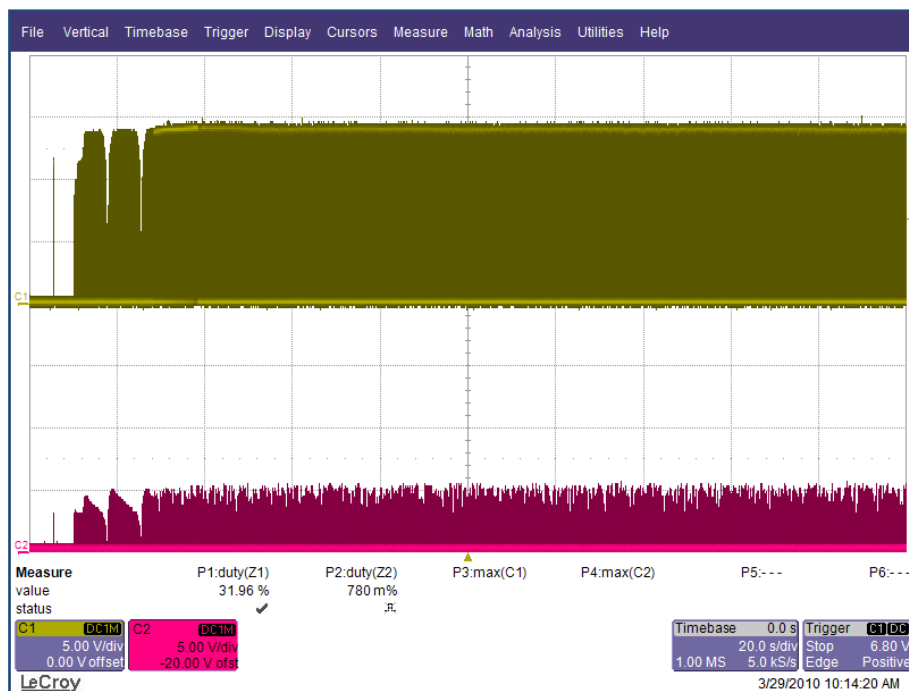
Vyhřívací odpor první sondy: 3,05 Ω

Vyhřívací odpor druhé sondy: 3,08 Ω

Pro měření napětí na vyhřívání obou sond připojíme osciloskop na bílý a šedý vodič, kde šedý vodič je signál a bílý zem. Konektory zpět připojíme k řídicí jednotce, spustíme osciloskop a nastartujeme.

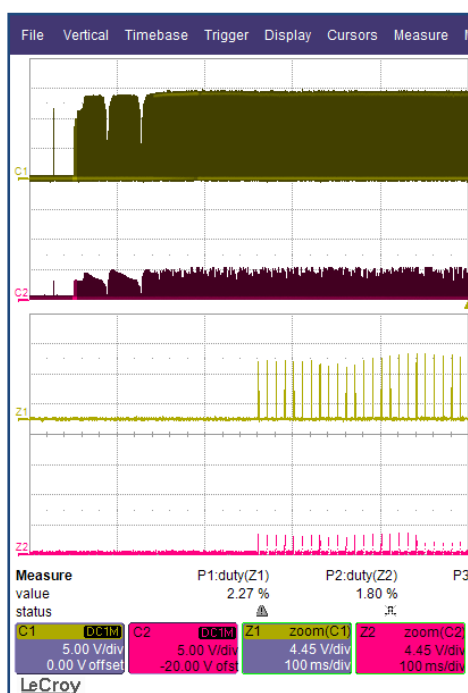
Pro měření napětí na měřicím odporu připojíme signál osciloskopu na červený vodič a zem na kostru automobilu, nebo na minus pól baterie.

Měření vyhřívání lambda sondy na studeném motoru:

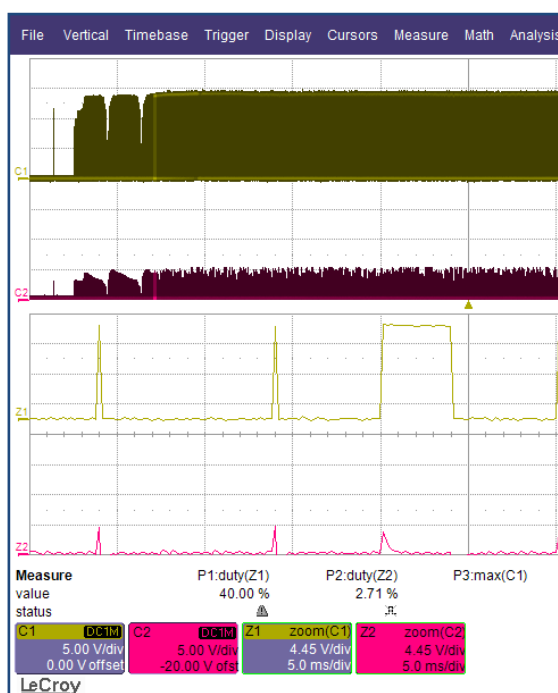


Obr. 66

Průběhy vyhřívacího napětí na první a druhé širokopásmové lambda sondě, po nastartování při studeném motoru.

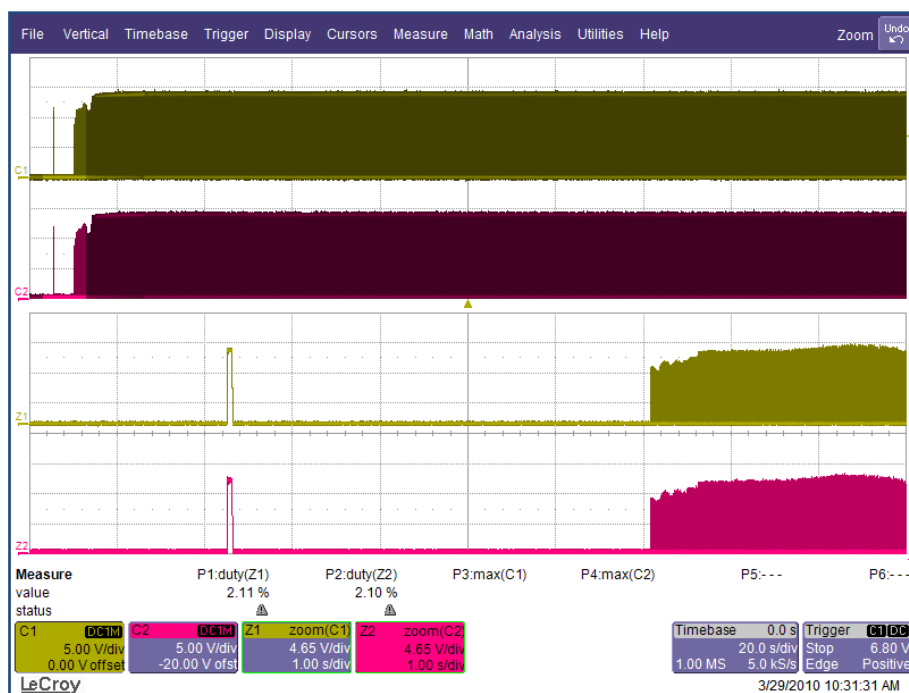


Obr. 67



Obr. 68

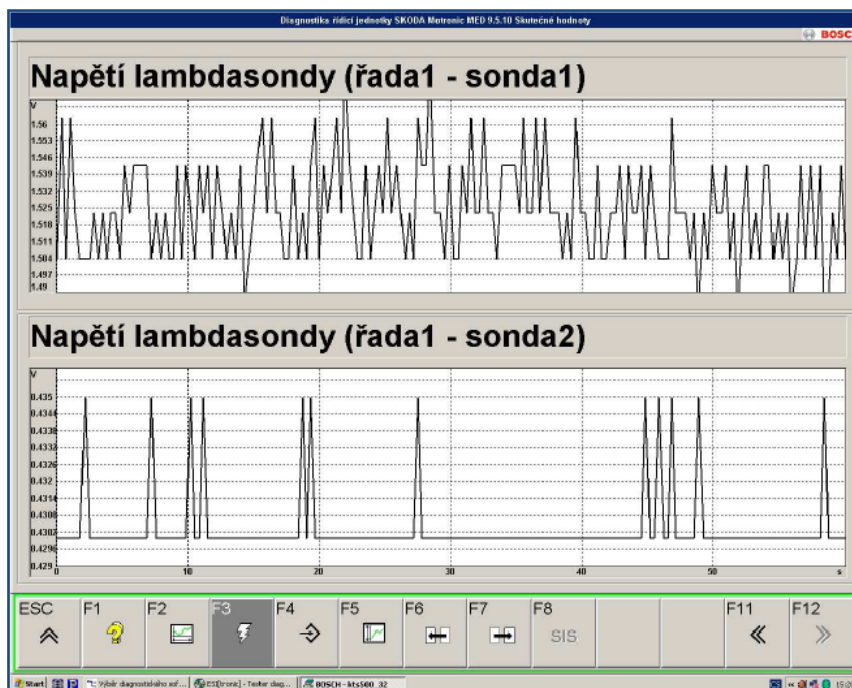
Na těchto obrázcích můžeme vidět, že i u širokopásmových sond je vyhřívání provedeno pulzním napájením.



Obr. 69

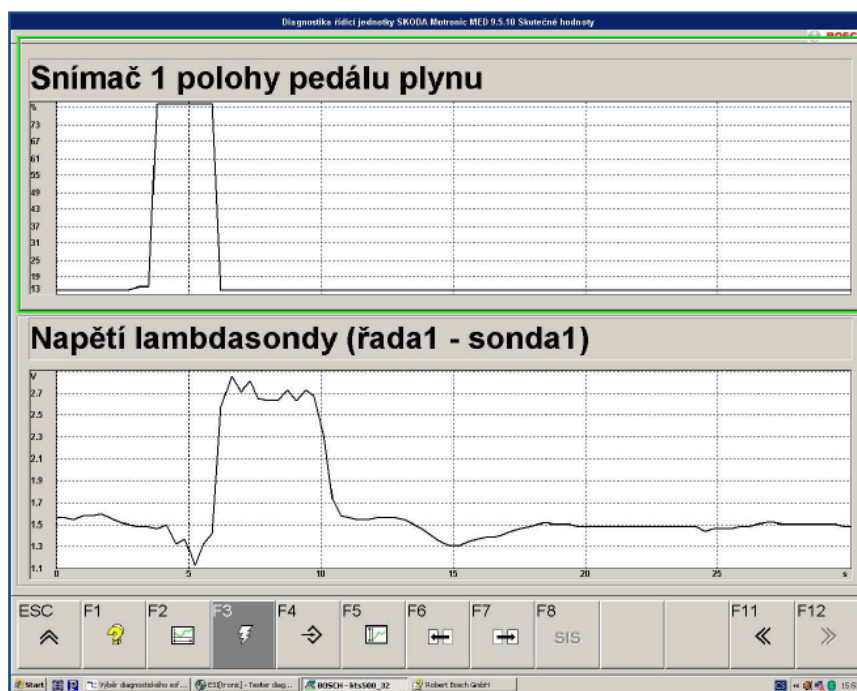
Průběh signálů vyhřívání lambda sond při mírně ohřátém motoru (40°C). Můžeme vidět, že druhá sonda je již částečně ohřátá, vzhledem k zvětšení amplitudy signálu. Teplota motoru na konci tohoto měření byla 54°C.

Měření lambda sondy pomocí BOSCH KTS 540:



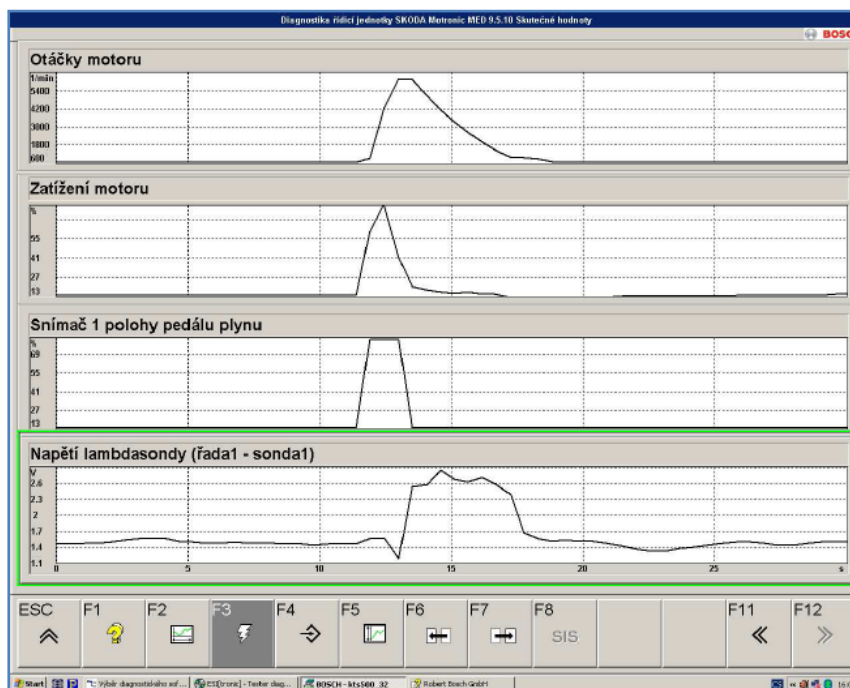
Obr. 70

Napětí lambda sond při volnoběžných otáčkách a zahřátém motoru. Napětí na první lambda sondě (1,5 V) odpovídá hodnotě přečerpávacího proudu 0 mA, tudíž hodnota $\lambda = 1$. Toto napětí nelze přímo změřit na žádné vodiči lambda sondy.



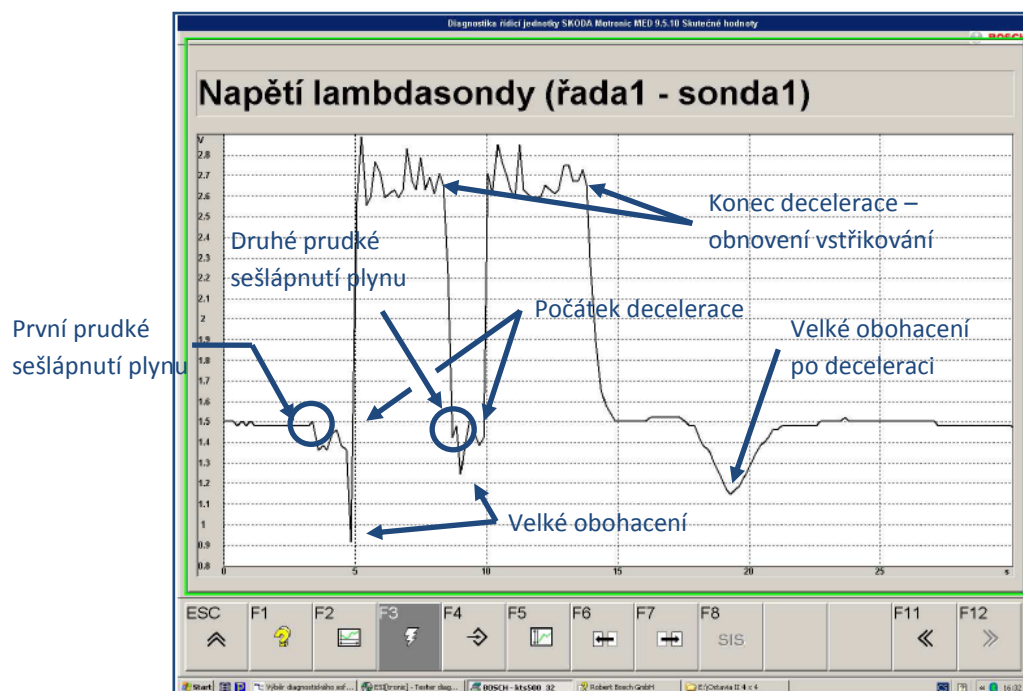
Obr. 71

Napětí první lambda sondy při prudké akceleraci. Vidíme, že nejprve dochází k mírnému snížení hodnoty napětí na lambda sondě a poté k prudkému nárůstu. Po snížení otáček se i hodnota napětí lambda sondy vrací k stavu odpovídajícímu volnoběžným otáčkám, čili vyvážené směsi $\lambda = 1$.



Obr. 72

Průběh čtveřice měřených veličin motoru při prudké akceleraci. Ze začátku motor zvyšuje své otáčky, dochází k obohacení směsi palivem, tudíž napětí sondy se zmenšuje, po dosažení požadovaných otáček už motor nepotřebuje tolik paliva a dochází k ochuzování směsi a dále s klesajícími otáčkami ochuzování trvá. Při ochuzování směsi se napětí na sondě výrazně zvětšuje, jelikož směs obsahuje větší množství kyslíku.



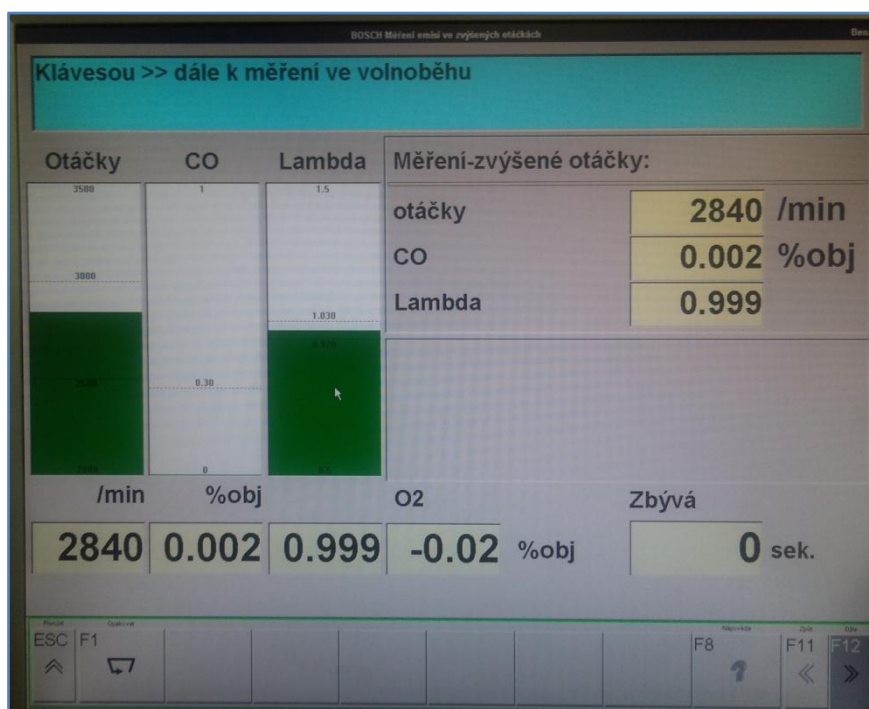
Obr. 73

Zde proběhly prudké akcelerace po sobě, lambda sonda bez problémů zaregistrovala takto rychlou změnu složení směsi, respektive změnu složení výfukových plynů.

Měření emisí

Měření emisí probíhalo s použitím válcové výkonové zkušebny.

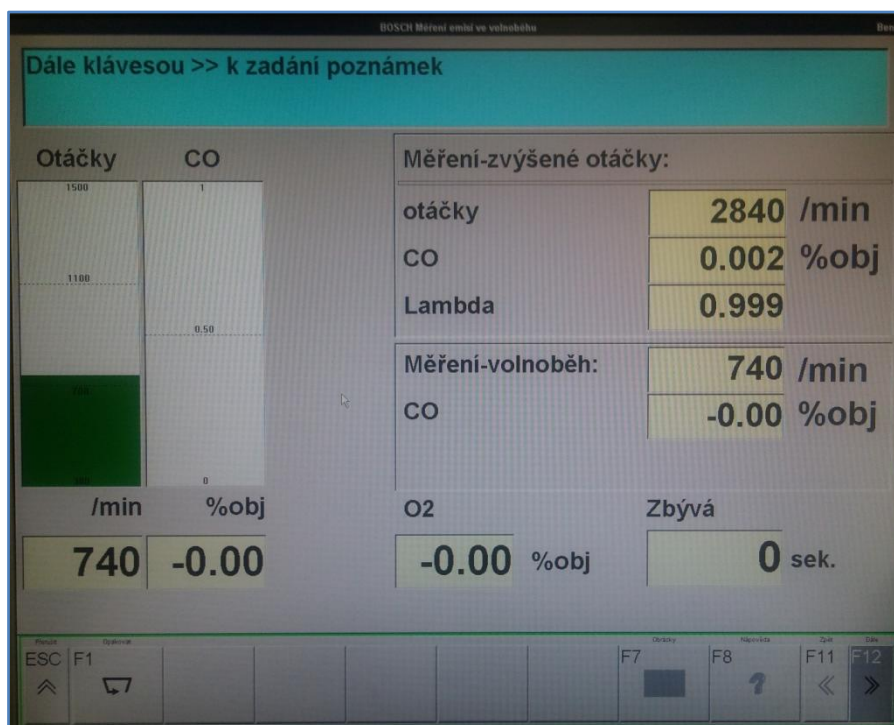
První část měření emisí probíhá ve zvýšených otáčkách po dobu 30 sekund.



Obr. 74

Z naměřených výsledků můžeme vidět, že lambda regulace vozidla probíhá zcela bez problémů. Emise motoru jsou také v pořádku.

Další část měření emisí probíhá ve volnoběžných otáčkách, zase po dobu 30 sekund.



Obr. 73

V této části měření také nedochází k žádným problémům, všechny výsledky jsou v pořádku.

Závěr: Měření tohoto vozu bylo o něco složitější, jelikož čerpací proud měřícího článku se nedá změřit přímo paralelním měřením, ale pouze sériovou diagnostikou. Díky této diagnostice jsem zaznamenal hodnoty napětí na měřících rezistorech sond. Z tohoto napětí se dále v jednotce počítá hodnota přečerpávacího proudu, který je měronosnou veličinou tohoto druhu sond. Měřením byla ověřena správná funkčnost obou širokopásmových sond. Obě lambda sondy reagují dostatečně rychle na prudké změny otáček zatížení motoru. Obsah kyslíku ve výfukových plynech a také emise CO nasvědčují tomu, že oba katalyzátory také pracují bez problémů.

3 Závěr

Vypracováním této bakalářské práce jsem získal nové znalosti v oblasti systémů lambda regulace, fyzikálních principů lambda sond, jejich použitelnosti pro jednotlivé druhy spalovacích motorů, vliv lambda faktoru na složení směsi, tvorbu emisí, složení emisí a dále také například vliv hodnoty lambda na účinnost katalyzátoru. Měřením všech popsaných vozidel jsem si prakticky ověřil teoreticky nabyté vědomosti. Díky Emisní systémové analýze jsem se dozvěděl jak ověřit provozuschopnost katalyzátoru vozidla a také jestli lambda regulace probíhá bez problémů.

4 Seznam použité literatury

- [1] VOJÁČEK, Antonín. Automatizace.HW.cz [online]. 13.6.2006 [cit. 2010-05-14]. Princip a použití Lambda sondy. Dostupné z WWW: <<http://www.automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/ART252-princip-a-pouziti-lambda-sondy.html>>.
 - [2] Galantweb.com [online]. 02.10.2009 [cit. 2010-05-14]. Funkce lambda sondy. Dostupné z WWW: <<http://www.galantweb.com/index.php?action=articles;sa=view;article=9>>.
 - [3] Autoelektrika.cz [online]. c2010 [cit. 2010-05-14]. Lambda sondy. Dostupné z WWW: <<http://www.autoelektrika.cz/clanky-38/Lambda-sondy-.aspx>>. [4] Časopis: Auto EXPERT, 11 Listopad 2009
 - [4] BROŽ, Jiří; TRNKA, Luboš. Snižování emisí spalovacích motorů vozidel III. Auto EXPERT: časopis profesionálů v autoopravářství. 11 LISTOPAD 2009, č. 9, s. 29.
 - [5] Ngk.de [online]. 2010 [cit. 2010-05-14]. NGK-E-Learning. Dostupné z WWW: <<http://www.ngk.de/E-Learning.2977.0.html#>>.
 - [6] Bosch-lambdasonde.de [online]. 2010 [cit. 2010-05-14]. Function. Dostupné z WWW: <http://www.bosch-lambdasonde.de/en/lambdasonde_funktion.htm>.
 - [7] GSCHEIDLE, Rolf, et al. Příručka pro automechanika. 2. upravené vydání. Praha : Sobotáles, 2002. Motor, s. 309-310. ISBN 80-85920-83-2.
 - [8] Cs.autolexicon.net [online]. 4. březen 2009 [cit. 2010-05-14]. Emisní norma EURO. Dostupné z WWW: <<http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro>>.
- Osciloskop: a jeho využití v autoopravářské praxi. Praha : Grada Publishing, a. s., 2006. 238 s. ISBN 80-247-1417-5.

5 Seznam příloh

Příloha A: Typizovaná laboratorní úloha pro vůz Hyundai i30